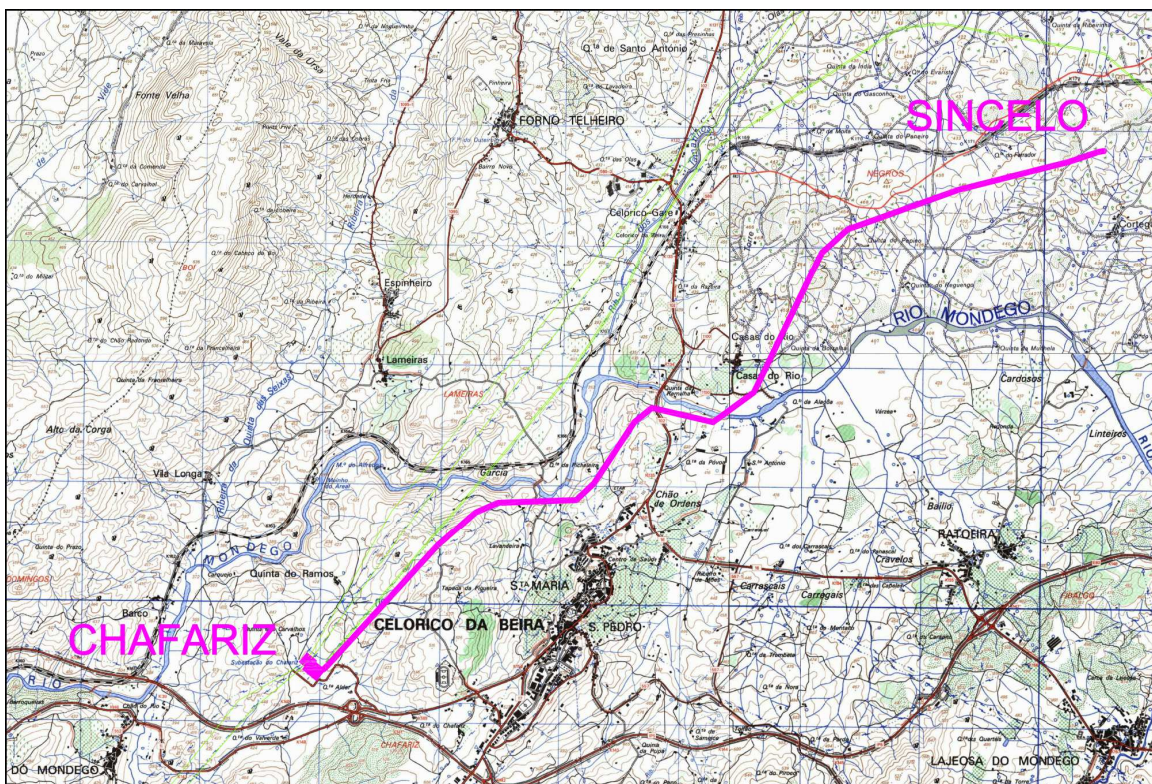


LINHA SINCELO – CHAFARIZ, A 220 kV

PROJETO DE LICENCIAMENTO



Memória Descritiva

setembro de 2018

ÍNDICE

1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
1.1	Objeto	5
1.1.1	Localização e Proposta para Éditos	6
1.1.2	Justificação	6
1.2	Impacte Ambiental	7
1.2.1	Considerações Gerais	7
1.2.2	Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (PPGRCD)	8
1.3	CrITÉrios TéCnicos Gerais	8
2	EQUIPAMENTO	10
2.1	Apoios	10
2.2	Fundações	11
2.3	Cabos	12
2.3.1	Aspetos Gerais do Dimensionamento	12
2.3.1.1	Aspetos Mecânicos	12
2.3.1.2	Aspetos Eléctricos	13
2.3.2	Distâncias de Segurança Associadas aos Cabos	14
2.4	Acessórios dos Cabos	14
2.4.1	Cabos Condutores	14
2.4.2	Cabos de Guarda	15
2.5	Amortecedores de Vibrações	16
2.6	Cadeias de Isoladores	17
2.6.1	Aspetos de Dimensionamento Eléctrico	17
2.6.2	Acessórios de Cadeia	18
2.6.3	Fixação à Estrutura	18
2.7	Coordenação de Isolamento	19
2.8	Circuito de Terra dos Apoios	20
2.8.1	Normalização Adotada	20

2.8.2	Constituição e Características dos Circuitos de Terra	21
2.9	Conjuntos Sinaléticos	24
3	CÁLCULOS	25
3.1	Cálculos Mecânicos	25
3.1.1	Cálculo Mecânico de Apoios e Fundações	25
3.1.2	Cálculo Mecânico dos Cabos	25
3.2	Cálculos Elétricos	25
3.2.1	Resistência Elétrica Linear dos Condutores	25
3.2.2	Capacidade Térmica	26
3.2.2.1	Capacidade Máxima de Transporte	26
3.2.2.2	Regime de Curto-Circuito	27
3.2.3	Efeito Coroa. Campo Elétrico Crítico. Perdas por Efeito Coroa.	28
3.2.4	Ruído Acústico	29
3.2.5	Interferências Radioelétricas	31
3.2.6	Constantes Elétricas Características da Linha	32
3.3	Funcionamento da Linha em Regime Permanente Sinusoidal	33
3.3.1	Trânsito de Energia ($P=140$ MW e $\text{tg}\varphi=0,2$ no barramento AT da SE Sincelo)	33
3.3.2	Linha em Vazio	34
4	DIRETRIZ DA LINHA	35
5	TRAVESSIAS DE VIAS DE COMUNICAÇÃO	36
5.1	Vias Férreas	36
5.2	Estradas	36
5.3	Cursos de Água	36
6	CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÕES	37
7	CRUZAMENTOS E PARALELISMOS COM GASODUTOS	38
8	TRAVESSIAS DE CONDUTAS ADUTORAS	39
9	OUTROS CRUZAMENTOS, TRAVESSIAS E PARALELISMOS	39
9.1	Aeródromos	39

9.2	Depósitos de Materiais Explosivos	39
9.3	Feixes Hertzianos	39
10	BALIZAGEM AÉREA	40
10.1	Sinalização para Aeronaves	40
10.2	Sinalização para Aves e Condicionamento da Construção de Ninhos	40
11	ANÁLISE DE RISCOS ORIGINADOS PELA PRESENÇA E FUNCIONAMENTO DA LINHA	41
11.1	Incêndios	41
11.2	Queda de Apoios ou de Cabos	42
11.3	Contactos Acidentais com Peças em Tensão	43
11.4	Tensões Induzidas	43
11.5	Relação de Obstáculos a Ligar à Terra e Dimensionamento do Circuito de Terra	45
12	EFEITOS DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS	45
12.1.1	Valores Limites	45
12.1.2	Medidas de Minimização Adotadas neste Projeto	47
12.1.3	Cálculo do Campo Elétrico	48
12.1.4	Cálculo do Campo Magnético	50
12.1.5	Estudo Específico	51
13	ANEXOS À MEMÓRIA DESCRITIVA	53
14	PEÇAS DESENHADAS	54

1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 Objeto

Constitui o objeto da presente Memória Descritiva o projeto da linha aérea simples a 220 kV a estabelecer entre a Subestação do Sincelo (60/220 kV), a construir no concelho de Celorico da Beira, Freguesia de Baraçal, propriedade da Eólica do Sincelo, S.A. (ESCL), do grupo EDP Renováveis, e a Subestação de Chafariz (220/60 kV) da RNT, Rede Nacional de Transporte, de que é concessionária a REN - Rede Eléctrica Nacional, S.A.

Esta linha insere-se na ligação à RNT do Parque Eólico do Sincelo, que inclui a Subestação 60/220 kV com o mesmo nome, com ponto de receção de energia no barramento de 220 kV da Subestação de Chafariz, da RNT.

A Subestação do Sincelo será o ponto de convergência das linhas de 60 kV provenientes dos sub-parques que constituem o designado Parque Eólico do Sincelo a construir nos concelhos de Pinhel, Guarda e Trancoso.

A construção desta linha viabiliza a entrega à Rede Nacional de Transporte da produção eólica do conjunto dos sub-parques que formam o Parque Eólico do Sincelo cuja potência total instalada será de 93,6 MW e devendo assegurar, no ponto de entrega, ou seja, à saída dos 220 kV da Subestação do Sincelo, tg fi [-0,2 ; 0,2].

Os antecedentes relacionados com o presente projeto possuem a seguinte referência:

- Atribuição do ponto de receção de energia elétrica do Parque Eólico do Sincelo, ofício DGEG 000435, de 2017-01-10, e alteração da potência do ponto de receção, ofício DGEG 008482, de 2018-08-08.

A linha objeto deste projeto terá a seguinte designação:

“Linha Sincelo – Chafariz, a 220 kV”

e terá como sigla: **LSCL.CF**.

Embora o licenciamento e a construção sejam da responsabilidade da Eólica do Sincelo, S.A., a Linha destina-se a integrar a Rede Nacional de Transporte, sendo no final da construção e antes da entrada em exploração entregue ao respetivo concessionário, ou seja, à REN – Rede Eléctrica Nacional, S.A..

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

1.1.1 Localização e Proposta para Éditos

A linha Sincelo – Chafariz a 220 kV com o comprimento total 8 503 m, localiza-se no distrito da Guarda, no concelho de Celorico da Beira e nas freguesias de:

- Baraçal;
- Forno Telheiro;
- União das freguesias de Celorico (São Pedro e Santa Maria) e Vila Boa do Mondego.

Propõe-se, para Éditos, o seguinte:

“Linha aérea simples a 220 kV entre a subestação 60/220 kV do Sincelo e a subestação da RNT de Chafariz com a extensão de 8 503 metros”

1.1.2 Justificação

Conforme referido acima, o Projeto em apreço viabiliza a injeção na RNT da energia elétrica produzida pelos sub-parques eólicos que compõem o Parque Eólico do Sincelo, projeto que a Eólica do Sincelo pretende construir no decorrer do ano de 2019, no âmbito da “Alteração ao Contrato relativo à Atribuição de Capacidade de Injeção na Rede do SEP e Pontos de Receção Associados para Energia Elétrica Produzida em Centrais Eólicas – Fase B”, celebrada em 28 de junho de 2016 com a DGEG.

A produção do Parque Eólico do Sincelo, com origem num recurso renovável e não poluente, substitui vantajosamente outras produções com origem em combustíveis fósseis (gás natural, fuel óleo ou carvão) reduzindo a dependência energética do exterior, traduzindo-se também numa melhoria do equilíbrio da balança comercial do país.

A produção eólica contribui diretamente para uma utilização mais eficaz dos recursos hidroelétricos, dado que o pode substituir, ainda que parcialmente, nas horas de maior consumo de eletricidade (horas cheias) e dado que pode aumentar o seu potencial ao proporcionar a bombagem de água para as albufeiras nas horas de menor consumo (horas de vazio). Existe, por estes e outros motivos, todo o interesse em manter-se a aposta nas energias renováveis em geral e na produção eólica em particular.

Consequentemente, é também importante garantir que a energia produzida através desses recursos eólicos seja injetada nas redes elétricas a fim de poder ser utilizada pelos consumidores finais. Importa salientar que este tipo de energia é geralmente produzido em locais remotos e afastados dos locais de consumo o que vem reforçar a importância das linhas elétricas de alta e muito alta tensão num cenário global de aproveitamento dos recursos energéticos de fonte renovável de que o nosso país dispõe.

Este é o papel da linha elétrica objeto deste projeto, no contexto do aproveitamento das energias renováveis disponíveis nesta zona do interior de Portugal.

1.2 Impacte Ambiental

1.2.1 Considerações Gerais

Nos termos do Decreto-Lei n.º Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro, alterado pelos Decretos-Lei n.º 47/2014, de 24 de março, n.º 179/2015, de 27 de agosto e n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro, este projeto não se insere na tipologia de projetos com obrigatoriedade de realização de procedimento de Avaliação de Impacte Ambiental, uma vez que a Linha Sincelo - Chafariz a 220 kV terá um comprimento inferior a 10 km, para além do facto de não se encontrar integrado em nenhum sítio da Rede Natura 2000 ou da Rede Nacional de Áreas Protegidas, nem ocupar nenhuma área sensível sob o ponto de vista patrimonial.

Contudo, nos termos do previsto no n.º1 do Art.º 3º do Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro, o projeto foi objeto de um estudo ambiental simplificado para, no âmbito da análise caso a caso, ser sujeito a verificação da aplicabilidade do regime jurídico de Avaliação de Impacte Ambiental, face aos impactes identificados, conforme solicitado no parecer da Agência Portuguesa do Ambiente, com a referência S040234-201806-DAIA.DAP, de 29 de junho de 2018, relativo ao projeto de um dos sub-parques do Parque Eólico do Sincelo cuja cópia se encontra no Anexo A.21.

À data atual, ainda se aguarda pelo parecer da APA.

Numa primeira fase, foi desenvolvido um Estudo de Grandes Condicionantes que teve por base uma análise multicritério de grandes condicionantes técnicas e ambientais assente num corredor de 400 metros de largura para cada lado de um eixo, consolidada após um reconhecimento de campo. O corredor selecionado teve em consideração os constrangimentos de ordem social e ambiental, nomeadamente evitando-se o atravessamento de áreas urbanas ou áreas habitadas dispersas, a não interferência com o Parque Natural da Serra da Estrela, áreas agrícolas, montado de sobro e azinho ou a pré-existência de outras infraestruturas lineares, como estradas, caminho de ferro, corredores de linhas elétricas ou ainda os corredores de gasodutos existentes ou a construir. Para além disso, foram ainda tidas em conta as ocorrências patrimoniais, com destaque para a estação arqueológica de São Gens e as suas áreas de salvaguarda, a existência de captações de água e suas áreas de proteção, a minimização do número de atravessamentos do rio Mondego e a afetação de solos integrados em áreas de REN e RAN e de infraestruturas sensíveis à exposição de campos eletromagnéticos.

Com base nos resultados do referido estudo, selecionou-se um corredor de 200 metros de largura, dentro do qual se efetuou análise ambiental de maior detalhe com vista à definição deste projeto. Note-se que foi este o estudo que serviu de base à análise caso a caso atrás referida.

Da análise efetuada considera-se que o projeto da Linha Sincelo - Chafariz a 220 kV não conduz à

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

geração de impactes negativos significativos, sendo que os impactes previstos poderão ser minimizados através das medidas já inseridas no projeto.

Além do disposto serão integrados no Caderno de Encargos do Processo de Consulta:

- a Planta Geral e de Condicionamentos, que define os condicionamentos ambientais, patrimoniais e de ordenamento;
- o Plano de Acompanhamento Ambiental de Obra que se destina a ser aplicado pelo Dono de Obra e que define as responsabilidades de todos os intervenientes em obra (que inclui o acompanhamento ambiental e arqueológico);
- a Lista de Medidas de Minimização Ambiental a ser adotada pelo empreiteiro;
- o Plano de Gestão de Resíduos; e
- o Plano de Recuperação de Áreas Intervencionadas.

1.2.2 Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (PPGRCD)

O Plano de Prevenção de Gestão de Resíduos de Construção e Demolição, previsto no Decreto - Lei 46/2008 de 12 de março será integrado no Caderno de Encargos do Processo de Consulta, à semelhança dos documentos referidos no final do ponto anterior.

1.3 Critérios Técnicos Gerais

Do ponto de vista técnico, o projeto a que se refere a presente memória, é constituído pelos elementos estruturais a seguir indicados, utilizados pela REN, S.A. nas linhas da Rede Nacional de Transporte deste nível de tensão:

- Um cabo condutor por fase do tipo ACSR 485 (Zebra);
- Dois cabos de guarda sendo, respetivamente, um do tipo OPGW (equipado com 40 fibras óticas) e o outro convencional do tipo ACSR 153 (Dorking);
- Apoios reticulados em aço das famílias “MTG” e “Q”;
- Isoladores de vidro temperado do tipo U160BS;
- Cadeias de isoladores e acessórios adequados aos escalões de corrente de defeito máxima de 40,0 kA;
- Fundações dos apoios constituídas por quatro maciços independentes em betão, formados por uma sapata em degraus e chaminé prismática;

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

- Circuitos de terra dos apoios dimensionados de acordo com as características dos locais de implantação dos apoios.

Nos aspetos técnicos regulamentares e/ou normativos, entre outros, observam-se os seguintes:

- Especificações da REN - Rede Elétrica Nacional, S.A. para linhas Aéreas de Muito Alta Tensão.
- EN 50341-1. Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV (incluindo Part 3-17, National Normative Aspects (NNA) for Portugal).
- RSLEAT - Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta tensão (DR 1/92).
- Circulares dos Serviços de Aviação Civil.
- Circulares dos Serviços de Hidráulica.
- Regulamento de Proteção às Espécies Florestais e Agrícolas.
- Servidões Administrativas.
- Portaria nº 1721/2004 de 23 de novembro, que adota as restrições básicas e fixa os níveis de referência relativos à exposição da população aos Campos Eletromagnéticos.
- Decreto-Lei nº 9/2007 de 17 de janeiro que aprova e publica em anexo o Regulamento Geral de Ruído.
- Lei nº 30/2010 de 2 de setembro relativa à proteção contra a exposição aos CEM derivados das linhas, das instalações e dos equipamentos.
- Normas Nacionais e Internacionais Sobre os Temas:
 - Efeitos dos Campos Eletromagnéticos.
 - Tensões Induzidas.
 - Perturbações Radioelétricas.
 - Ruído Acústico.

As características gerais da linha objeto da presente Memória são as seguintes:

- Nº de circuitos trifásicos: 1
- Nº de condutores por fase: 1
- Tensão nominal: 220 kV
- Tensão máxima de serviço: 245 kV
- Frequência: 50 Hz

2 Equipamento

2.1 Apoios

Os apoios a utilizar são do tipo “MTG” e “Q”. Trata-se de estruturas treliçadas, em aço com os cabos condutores dispostos em esteira horizontal e os cabos de guarda colocados superiormente.

Os apoios “MTG” são, no essencial, apoios MT redimensionados para utilização em zonas de tipo B com gelo. Os apoios do tipo “Q” são apenas utilizados excepcionalmente quando ultrapassados as condições de utilização e/ou as alturas disponíveis na gama dos apoios “MTG”.

Os apoios atrás referidos e respetivas fundações estão licenciados pela REN, S.A. como elementos tipo das linhas da RNT pelo que se referem seguidamente apenas as respetivas características gerais.

As estruturas dos apoios são constituídas por estruturas metálicas treliçadas convencionais, constituídas por perfis L de abas iguais ligados entre si diretamente ou através de chapas de ligação e parafusos. Estão calculados para o aço de designação S275JR ($\sigma_c = 275 \text{ N/mm}^2$)¹ para perfilados até 75x8 (inclusive) e S355J0 ($\sigma_c = 355 \text{ N/mm}^2$)¹ para perfilados iguais ou superiores a 80x8.

A proteção dos apoios contra a corrosão é assegurada por zincagem a quente, a qual tem uma espessura mínima de 70 μm nas peças com espessura inferior ou igual a 6 mm e 80 μm nas peças de espessura superior a 6 mm.

O Anexo A.1 inclui as principais características geométricas dos apoios com incidência direta nos aspetos ambientais.

Os postes do tipo MT1G destinam-se à função de alinhamento em suspensão, os dos tipos MTR1G, MTR2G à função de ângulo em amarração e os apoios MTAG à função de fim de linha. Os postes do tipo “QR” e “QT” estão reservados à função de ângulo em amarração e nas situações acima mencionadas.

A geometria das hastes de cabo de guarda permite os seguintes ângulos de cobertura dos condutores pelos cabos de guarda junto aos apoios:

- Postes do tipo MT1G, em suspensão, 12 graus;
- Postes dos tipos MTR1G, MTR2G e MTAG, em amarração, 20 graus;
- Postes do tipo QR, em amarração, 25 graus;
- Postes do tipo QT, em amarração, 35 graus.

As distâncias, na horizontal, entre pontos de fixação dos condutores e entre pontos de fixação dos cabos

¹ Designação segundo EN 10025:1994

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

de guarda, são as seguintes:

	MT1G [m]	MTR1G [m]	MTR2G [m]	MTAG [m]	QR [m]	QT [m]
Envergadura	13,12	14,00	14,00	14,00	21,80	24,10
Condutores	6,56	7,00	7,00	7,00	10,90	12,05
Cabos de Guarda	11,17	12,00	12,00	12,00	17,14	17,14

Os parafusos são de classe 5.6 de rosca métrica, segundo norma DIN 7990.

2.2 Fundações

As fundações dos apoios reticulados são constituídas por quatro maciços independentes em betão, com sapata em degraus, chaminé prismática e armadura em aço.

Conforme estipula o RSLEAT as fundações associadas aos apoios da linha são dimensionadas para os mais elevados esforços que lhe são comunicados pela estrutura metálica, considerando todas as combinações regulamentares de ações. O dimensionamento destas fundações é, por sua vez, dependente das condições geotécnicas do terreno onde são implantadas.

Assim, *a priori*, as fundações são definidas para condições “médias” de terreno correspondentes a uma caracterização - tipo de “areia fina e média até 1 mm de diâmetro de grão” a que correspondem as características:

- Massa Volúmica = 1600 kg/m³.
- Ângulo de Talude Natural = 30 a 32°.
- Pressão Admissível = 200 a 300 kPa.

Quanto às características do betão são as correspondentes ao betão da classe C20/25 com valor característico mínimo da tensão de rotura por compressão, f_{ck} , de 20 MPa (provetes cilíndricos com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura).

As fundações dos apoios reticulados são dimensionadas ao arrancamento, na generalidade dos casos abrangidos pelas condições “médias” de terreno, pelo método do peso de terreno estabilizante e desprezando a contribuição da força de atrito do terreno.

Na fase de construção da linha são detetadas as situações que serão objeto de dimensionamento

específico do ponto de vista geométrico e geotécnico. No primeiro caso trata-se de adaptar o apoio ao terreno utilizando pernas desniveladas ou maciços de configuração especial, no segundo caso trata-se de verificar e/ou redimensionar os maciços face aos valores que as grandezas acima referidas apresentam nos locais de implantação.

O Anexo A.2 contém os esquemas das fundações normais dos apoios usados na linha.

2.3 Cabos

2.3.1 Aspetos Gerais do Dimensionamento

As características mecânicas e elétricas dos cabos são indicadas no Anexo A.4 e as condições gerais de utilização são as habitualmente utilizadas pela REN, S.A. neste tipo de cabos. Um dos cabos de guarda instalado é do tipo OPGW (“Optical Ground Wire”), o qual possui no seu interior fibras óticas (40) destinadas às funções de telemedida e telecontrole bem como de telecomunicações em geral. Os tipos de cabos e as trações de referência a utilizar estão indicadas no desenho perfil longitudinal e planta parcelar. Os valores de referência para cálculo da regulação em fase de obra constam do Anexo A.7

2.3.1.1 Aspetos Mecânicos

- **Cabos Condutores:** ACSR 485 (Zebra)
- **Cabos de Guarda:** ACSR 153 (Dorking) + OPGW (40 fibras)

Embora o traçado da linha se situe a altitudes inferiores a 600 m, optou-se, de forma conservadora, por dimensionar a instalação para vento de zona B e manga de gelo com 10 mm de espessura.

Os valores de EDS adotado para os cabos são:

- Cabos Condutores (ACSR 485 (Zebra)): 16 %
- Cabos de Guarda (ACSR 153 (Dorking)): 14 %

A fim de prevenir a ocorrência de defeitos nos cabos originados por dobragem excessiva nos pontos de fixação aos apoios foram determinados os ângulos de enrolamento dos cabos condutores e de guarda nas pinças de suspensão. Em todos os casos os ângulos calculados são inferiores a 30 graus pelo que não é necessário adotar quaisquer medidas corretivas. Os cálculos constam do Anexo A.9. Os ângulos máximos encontrados são de 25,4 e 23,0 graus para os condutores ACSR 485 (Zebra) e cabos de guarda, respetivamente.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

Pode-se ainda acrescentar que em resultado destas condições mecânicas, os cabos condutores trabalharão com as seguintes trações tangenciais máximas relativamente à carga de rotura:

- ACSR 153 (Dorking) e OPGW equivalentes: 33%
- ACSR 485 (Zebra): 30%

Estes valores cumprem os critérios indicados no RSLEAT (40% da rotura) e procuram, com segurança e economia, aproveitar bem a capacidade mecânica dos cabos.

No Anexo A.7 estão indicados para cada vão as trações e parâmetros dos cabos condutores e de guarda.

O Anexo A.8 inclui uma relação dos ângulos de oscilação das cadeias de suspensão na situação convencionalmente utilizada para verificação dos desvios máximos, temperatura de 15°C e metade do vento máximo. O ângulo máximo de oscilação calculado nestas condições é de 37,4 graus e ocorre no apoio 13.

A relação de flechas no EDS, entre os cabos de guarda e os condutores é, em toda a linha, igual ou inferior a 0,87. No entanto, no vão entre os apoios 15 e 16, considerando a sobrecarga de esferas de sinalização, este valor atinge 0,93. Estes resultados podem ser consultados no Anexo A.7.

2.3.1.2 Aspetos Elétricos

Os cálculos efetuados conduziram aos seguintes valores dos campos elétricos máximos à superfície dos condutores:

- Tensão nominal: 14,8 kV/cm;
- Tensão máxima de serviço: 16,5 kV/cm.

Do ponto de vista das perdas por efeito de coroa assim como dos ruídos acústico e radioelétrico estes valores são aceitáveis.

No que diz respeito ao comportamento dos cabos em situações de defeito, o cabo ACSR 485 (Zebra) está bem adaptado para o escalão de corrente de curto-circuito trifásico de 40 kA (para a temperatura limite de 125 °C (no alumínio) o cabo pode suportar 40,0 kA durante 0,375 segundos e supondo que está à temperatura de 75°C ao ocorrer o CC). O mesmo se passa com os cabos de guarda Dorking, os quais são elementos importantes na segurança de pessoas, transportando a maior parte da corrente de defeito e reduzindo portanto, a que é escoada para o solo via poste. O cabo OPGW apresenta características similares mantendo-se uma solução equilibrada.

Para efeitos de dimensionamento foram admitidos, nos extremos da linha, valores máximos das correntes de curto-circuito, trifásico e monofásico, iguais a 40 kA.

2.3.2 Distâncias de Segurança Associadas aos Cabos

As distâncias de segurança, particularmente aos obstáculos a sobre passar (solo, árvores, edifícios, estradas, etc.), são avaliadas para a situação de flecha máxima, ou seja, temperatura dos condutores de 85 °C sem sobrecarga.

Neste Projeto adotam-se os critérios definidos pela REN - Rede Elétrica Nacional, S.A. para as linhas da Rede Nacional de Transporte os quais estão acima dos mínimos regulamentares, criando-se assim uma servidão menos condicionada e aumentando-se o nível de segurança em geral.

Nos quadros seguintes mostram-se os valores adotado neste projeto:

Tipo de obstáculos	REN, S.A. [m]	Mínimos RSLEAT [m]
Solo	12,0	7,1
Árvores	5,0	3,7
Edifícios	6,0	4,7
Estradas	12,0	8,5
Vias férreas eletrificadas ²	15,0	14,2
Vias-férreas não eletrificadas	12,0	8,5
Outras linhas aéreas ³	5,0	4,7
Obstáculos diversos	5,0	3,7

2.4 Acessórios dos Cabos

2.4.1 Cabos Condutores

Os acessórios de fixação (pinças de amarração e de suspensão) e os de reparação (uniões e mangas de reparação) estão dimensionados para as ações mecânicas transmitidas pelos cabos e para os efeitos térmicos resultantes do escalão de corrente de defeito máxima de 40,0 kA.

As uniões e pinças de amarração do cabo ACSR 485 (Zebra) são do tipo compressão, constituídas por um

² Para distâncias entre o ponto de cruzamento e o apoio de 220 kV mais próximo inferiores a 200 metros

³ Para distâncias entre o ponto de cruzamento e o apoio de 220 kV mais próximo inferiores a 200 metros

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

tubo de aço que se comprime sobre a alma de aço e por um tubo de alumínio que se comprime na superfície do cabo condutor. Qualquer destes acessórios tem uma carga de rotura não inferior à dos cabos, e particularmente as uniões garantem aquela carga simultaneamente com uma resistência elétrica inferior a um troço de cabo de igual comprimento. Os valores de dimensionamento conduzem assim a uma carga última de rotura destes acessórios não inferior a 150 kN e temperatura final do material abaixo do limite térmico para correntes de 40,0 kA, durante 1s.

As pinças de suspensão para fixação dos condutores nos apoios de suspensão são do tipo AGS - Armour Grip Suspension. Este tipo de pinças, normalizadas nas linhas da REN, S.A., fixa o cabo através de um sistema de varetas helicoidais pré-formadas e de uma manga de neopreno, apresentando características particularmente favoráveis no que diz respeito à redução ou eliminação de danos causados aos fios que formam o cabo na zona de fixação, em resultado de fadiga causada por vibrações eólicas.

2.4.2 Cabos de Guarda

Os acessórios de fixação do cabo de guarda convencional (pinças de amarração e de suspensão) e os de reparação (uniões e mangas de reparação) estão dimensionados para as ações mecânicas transmitidas pelos cabos e para os efeitos térmicos resultantes do escalão de corrente de defeito máxima de 40,0 kA. Os acessórios de fixação do OPGW, pinças de suspensão e pré formados para amarração, estão igualmente dimensionados para este escalão da corrente de defeito.

As uniões e pinças de amarração dos cabos Dorking são também do tipo compressão, constituídas por um tubo de aço que se comprime sobre a alma de aço e por um tubo de alumínio a comprimir sobre a superfície do cabo. Qualquer destes acessórios tem uma carga de rotura não inferior à dos cabos e as uniões garantem esta carga simultaneamente com uma resistência elétrica inferior a um troço de cabo de igual comprimento. Os valores de dimensionamento conduzem assim a uma carga última de rotura destes acessórios não inferior a 150 kN e temperatura final do material abaixo do limite térmico para correntes de 40,0 kA, durante 1 s.

A amarração do OPGW realiza-se sem corte do cabo e este é fixado por um conjunto de varetas pré-formadas que fornecem o necessário aperto.

Nos apoios de suspensão as pinças de suspensão para fixação dos cabos de guarda convencional e OPGW são do tipo AGS - Armour Grip Suspension de características idênticas às utilizadas nos condutores.

2.5 Amortecedores de Vibrações

Consideram-se aqui os problemas de fadiga causada por vibrações eólicas sobre os fios dos cabos, uma vez que este problema não se coloca em relação aos apoios (estes têm uma frequência própria de vibração muito baixa). Apesar das conhecidas características redutoras de danos de fadiga nos cabos condutores associadas ao uso de pinças de suspensão AGS, tanto estes como os cabos de guarda estão sujeitos a regimes de vibrações eólicas, que exigem a adoção de sistemas especiais de amortecimento das mesmas. Alguns fatores determinam o comportamento dos cabos nestas circunstâncias:

- Características de inércia (massa) e de elasticidade;
- Características dos acessórios de fixação dos cabos;
- Tensão mecânica de esticamento (normalmente referenciada ao EDS);
- Geometria dos vãos;
- Regime dos ventos (geralmente os regimes de rajada que condicionam as trações máximas sobre cabos e estruturas, não produzem fadiga nos cabos; são neste caso os regimes lamelares de velocidade baixa-média que produzem as vibrações de mais alta frequência que conduzem a problemas de fadiga mecânica; os terrenos de baixa rugosidade oferecem em geral as condições topográficas para a ocorrência deste tipo de ventos).

A modelização matemática deste fenómeno, com a intenção de produzir resultados generalizáveis a todas as circunstâncias de projeto é bastante complexa e uma perspectiva de cálculo caso a caso não é prática. De um modo geral, em função da parametrização das grandezas acima referidas, são projetados amortecedores, cujas características de inércia e elásticas permitem o amortecimento num espectro relativamente largo de frequências na gama das expectáveis. A geometria de colocação no vão é geralmente definida através de regras empíricas e de uma análise estatística baseada numa amostragem significativa de ensaios, medidas laboratoriais e experiência de utilização.

O critério de colocação dos amortecedores será determinado após a regulação dos cabos, elaborado com base em estudos específicos a realizar pelo fornecedor deste tipo de equipamento.

2.6 Cadeias de Isoladores

2.6.1 Aspectos de Dimensionamento Elétrico

Para efeitos de dimensionamento elétrico das cadeias de isoladores assumem-se os seguintes valores de corrente de CC:

- SE Sincelo: 40 kA (220 kV).
- SE Chafariz: 40 kA (220 kV).

Assim, serão utilizados isoladores de calote e haste, em vidro, do tipo U160BS⁴.

Estes isoladores, que classificaremos de “normais”, são adequados às zonas de poluição ligeira ou muito baixa, que ocorrem ao longo do corredor. A linha de fuga considerada é de 20 mm/kV (tensão composta)⁵.

As características destes isoladores estão indicadas no Anexo A.5.

Cadeias de amarração aos pórticos	PL10171	2 x 14 U160BS
Cadeias de amarração dupla	PL10172	2 x 14 U160BS
Cadeias de suspensão simples	PL10174	1 x 14 U160BS
Cadeias de suspensão dupla	PL10175	2 x 14 U160BS
Cadeias de suspensão em “V” (MT1G)	PL10215	2 x 14 U160BS

A distância entre hastes de guarda ou entre hastes e anéis de guarda a respeitar na linha, de modo a permitir a garantia de uma adequada coordenação de isolamento na mesma, de acordo com o procedimento da REN, S.A. variam no escalão de 220 kV entre 1800 e 1865 mm.

Estas distâncias estão devidamente coordenadas com as distâncias mínimas entre peças em tensão e as partes metálicas das estruturas (massa) - que o RSLEAT preconiza para situação em repouso e desviada pelo vento, respetivamente, 1,53 e 1,43 m - valores respetivamente inferiores aos mínimos preconizados pela REN, S.A.⁶ nos intervalos correspondentes e que são, em mm, [2050 – 1650] e [1980 – 1570] para

⁴ Vd. Norma CEI-60305.

⁵ Vd. Norma CEI-60815.

⁶ O critério determinante deste dimensionamento é o de considerar que a distância entre peças em tensão e a estrutura, quando a cadeia de isoladores equipada é desviada pelo vento, deve garantir uma tensão suportável (50 Hz) 10% acima da tensão suportável da cadeia de isoladores equipada e sob chuva, enquanto que na situação de repouso o critério aponta para a garantia de uma tensão suportável ao choque atmosférico 10% acima da cadeia de isoladores devidamente equipada.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

uma variação da distância entre hastes de guarda respetivamente correspondente de, [1865 - 1800] em mm. Esta distância real entre hastes para as cadeias previstas para a linha é superior à das hastes na amarração ao pórtico que é de 1200 mm, para adequada proteção do equipamento (disjuntores abertos ou em fase de abertura).

2.6.2 Acessórios de Cadeia

Os acessórios estão adaptados ao escalão de corrente de defeito de 40,0 kA, durante 1s, sendo a densidade máxima de corrente limitada a 70 A/mm². Para os dispositivos de proteção, a densidade máxima de corrente limitada a 75 A/mm².

As hastes de guarda nas cadeias de amarração e suspensão com isoladores U160BS são em varão de aço de \varnothing 25 mm, e os anéis de descarga são em tubo de aço com secção mínima de 500 mm² (\varnothing de 60 mm aprox.) e abertura de 50 mm.

Os dispositivos de proteção são dispostos de modo a proteger os isoladores do arco obrigando-o a manter-se afastado destes. No caso da presente linha, as cadeias de suspensão centrais (todas em “V”) são colocadas com as hastes de descarga superiores segundo um plano perpendicular ao dos condutores e os anéis de descarga inferiores segundo o plano dos condutores e dispostos para os dois lados. As cadeias de suspensão a instalar na extremidade das consolas têm os dispositivos de proteção orientados para o exterior.

Os planos das cadeias estão incluídos no Anexo A.6.

2.6.3 Fixação à Estrutura

Os conjuntos de cadeia, quer dos condutores quer dos cabos de guarda, são fixados à estrutura através de um sistema de caixa e charneira, o qual oferece uma resistência de contacto favorável em comparação com os sistemas de fixação com acessórios de perfil redondo. A adoção deste sistema resultou da experiência de exploração e de ensaios específicos para o efeito. No caso dos cabos OPGW todas as fixações os apoios (amarração e suspensão) são equipadas com um sistema de “shunt” para assegurar a ligação à estrutura de forma franca, de modo a evitar quaisquer sobreaquecimentos em resultado de correntes de defeito.

Os planos de fixação dos cabos de guarda estão incluídos no Anexo A.6.

2.7 Coordenação de Isolamento

No sentido de estabelecer a coordenação de isolamento, as várias distâncias mínimas a considerar são organizadas de acordo com uma hierarquia. Por ordem crescente teremos:

1. Distância entre hastes de guarda (explosores) de cadeias de amarração da linha aos pórticos das subestações ($d=1200$ mm). Proteção prioritária do equipamento das subestações (disjuntores em fase de abertura ou abertos em definitivo) contra sobretensões de tipo atmosférico.
2. Distância entre hastes de guarda nas cadeias de isoladores. Aqui a linha terá um nível de isolamento semelhante ao dos equipamentos que constituem os painéis de linha, ou seja:
 - Tensão suportável ao choque atmosférico 1050 kV (pico)
 - Tensão suportável a 50 Hz, 1 minuto 460 kV (eficaz)
3. Distância no ar entre peças em tensão (condutores e/ou acessórios) e a estrutura, na situação de repouso (sem vento) e com uma inclinação introduzida pelo vento, que se manifesta através do movimento das cadeias de isoladores. Estas distâncias garantem tensões suportáveis superiores às mencionadas atrás em 2., com o objetivo de evitar contornamentos para as estruturas.
4. No escalão de 220 kV, os valores calculados para a distância mínima entre peças em tensão e a massa na situação de repouso é, em metros, de [1,98 a 2,05] e na de desviada pelo vento de [1,57 a 1,65], respetivamente para as distâncias entre hastes, em mm, de [1800 a 1865].

2.8 Circuito de Terra dos Apoios

2.8.1 Normalização Adotada

Neste âmbito tomou-se em consideração:

* **Zonas públicas e frequentadas**⁷, as recomendações estipuladas na publicação ANSI/IEEE standard 80-1986.

Os limites especificados para a tensão de contacto e de passo, admitindo uma resistividade do solo de 100 Ω .m e um tempo de eliminação de defeito 0,5 s, são:

	Zona Pública	Zona Frequentada
Tensão de contacto, U_c [V]	189	225
Tensão de passo, U_p [V]	262	355

* Zonas pouco frequentadas, o prescrito nas especificações VDE 0141/7.76;

* Zonas não frequentadas, as recomendações estipuladas na norma Suíça, referência ASE 3569 - 1.1985.

Nestas duas últimas zonas, e considerando tempos de eliminação de defeito < 0,5s, as recomendações enunciadas não especificam qualquer valor limite para a tensão de contacto e de passo.

Recorre-se aqui às equações de Dalziel para a corrente tolerável pelo corpo humano, e faz-se intervir a resistência elétrica média de um indivíduo (1000 Ω) e a resistência média pé/solo, proporcional à resistividade do solo. Os valores limites referidos aparecem, portanto parametrizados pela resistividade do solo e o tempo de eliminação de defeito. Enquanto este segundo, conforme características dos equipamentos de proteção e estatística da exploração da RNT está garantido com um nível alto de probabilidade, já o valor da resistividade é bastante variável quer em valor médio de local para local quer

⁷ A fim de se tornar mais claras estas definições, diga-se que se entende por **zonas públicas** aquelas onde se verifique uma densidade populacional grande ainda que só em determinadas ocasiões (parques urbanos), áreas destinadas a convívio cultural, recreativo ou desportivo, recintos destinados a feiras, mercados, atos públicos e religiosos, lugares de romaria, zonas de equipamento social coletivo como hipermercados, hospitais e lugares de ensino, etc. Por sua vez uma **zona frequentada** será aquela que não sendo da categoria anterior se pode caracterizar pela presença humana amiúde como caminhos de serviço, áreas junto a fontes ou poços de utilização habitual, zonas agrícolas de atividade frequente do tipo hortas, instalações agropecuárias e de apoio agrícola, etc. Uma zona será entendida como **pouco frequentada** se corresponder a uma zona submetida a exploração agrícola em que a intervenção humana é reduzida, a uma exploração ganadeira, etc. Finalmente é entendida como **zona não frequentada** se a presença humana é esporádica, sendo normalmente associada à inaptidão agrícola como por exemplo zona florestal, zona de acentuado declive, etc.

localmente nas diferentes direções em torno do poste e ainda ao longo do tempo em função do grau de humidade do solo. Por outro lado, note-se que estes valores limites crescem com o valor da resistividade do solo (com incidência na resistência pé/solo), o que justifica por vezes a utilização de gravilha ou asfalto/materiais de alta resistividade numa camada superficial sobre o solo como medida para subir aqueles limites. Em qualquer caso o tratamento de zonas públicas deve ser sempre feito caso a caso e com uma metodologia que passa por medições e análise *in situ* que confirmem as estimativas obtidas pelo modelo de cálculo.

2.8.2 Constituição e Características dos Circuitos de Terra

Embora o traçado da linha seja exclusivamente estabelecido em zonas pouco frequentadas e não frequentadas indicam-se seguidamente as soluções construtivas típicas dos circuitos de terra para zonas não frequentadas e frequentadas.

Os tipos de configuração que se preconiza para os circuitos de terra dos apoios em cada uma das zonas a seguir referidas, assim como a corrente de curto-circuito ao longo da linha, podem ser vistos no Anexo A.3.

A) Zonas pouco frequentadas e/ou não frequentadas

A configuração tipo de elérodos de terra que se preconiza utilizar nestas zonas, é em todos os apoios, de quatro estacas e respetivos cabos de cobre de ligação à estrutura.

Os elérodos de terra são estacas de "Copperweld" de 16 mm de diâmetro e 2,1 m de comprimento, enterradas na vertical uma em cada um dos cantos exteriores do conjunto de caboucos devendo os seus topos estar a uma profundidade mínima de 0,8 metros.

Os cabos que interligam os elérodos de terra às cantoneiras das bases, são de cobre nu de 50 mm². O cabo é ligado à cantoneira e às estacas por intermédio de ligadores apropriados, procurando-se sempre um permanente bom contacto e de baixa resistência.

Para a configuração em análise, o valor da resistência de terra varia ligeiramente com o tipo de apoio pelo facto da geometria da malha estar associada à base do apoio. O caso mais desfavorável, i.e., aquele em que por esta razão o eléetrodo especificado é menos extenso refere-se aos apoios de alinhamento (apoios MT1G-31). Para este caso o valor da resistência de terra é de 12,41 Ω admitindo-se uma resistividade do solo de 100 $\Omega.m$ ⁸.

⁸ No cálculo das características de resistência, dos perfis de potencial ao nível do solo, das tensões de contacto e de passo para

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
 Memória Descritiva

No quadro seguinte, apresentam-se a título apenas indicativo as características deste tipo de circuito de terra do apoio MT1G-31, no que se refere à tensão de contacto e de passo, e ainda ao potencial máximo no solo em % do potencial do circuito de terra:

Tipo de Circuito de Terra	Resistência de Terra para $\rho=100 \Omega$. [Ω]	Potencial máx. no solo do potencial do circuito de Terra [%]	Tensão de Contacto do potencial do circuito de Terra (d = 1,0 m) [%]	Tensão de Passo do potencial do circuito de Terra [%]
4 estacas $\varnothing=16\text{mm}$ l = 2,1 m	12,41	30,36	69,66	5,48

Convirá salientar que nestas condições, está garantido o valor de resistência de terra menor que 15 Ω , recomendado para o 1º km junto das subestações, procurando-se deste modo diminuir a probabilidade de contornamentos por arco de retorno.

Caso o valor da resistência de terra seja superior aos 15 Ω no 1º km junto das subestações, torna-se necessário melhorar o circuito de terra, podendo-se instalar um anel a unir as 4 estacas, como se indica no Anexo A.3.

Diga-se que esta opção será válida para uma resistividade do solo no domínio 100 a 300 Ω .m, indicando-se no quadro abaixo os valores obtidos para o tipo de configuração do circuito de terra com quatro estacas e um anel, no apoio MT1G-31:

Tipo de Circuito de Terra	Resistência de Terra para $\rho=300 \Omega$. [Ω]	Potencial máx. no solo do potencial do circuito de Terra [%]	Tensão de Contacto do potencial do circuito de Terra (d = 1,0 m) [%]	Tensão de Passo do potencial do circuito de Terra [%]
4 estacas $\varnothing=16\text{mm}$ l = 2,1 m e um anel	16,16	75,85	23,63	15,11

cada configuração de malha de terra utilizou-se um modelo tridimensional de cálculo de campos elétricos baseado na simulação de fontes de correntes retilíneas que podem ser subdivididas até ao caso limite de fontes de corrente pontuais (método de elementos finitos). Definida a geometria da malha de terra, calculados os coeficientes de resistência entre troços condutores e por sua vez os coeficientes de condutância, é possível conhecer a corrente escoada ou captada por cada troço condutor. Para este efeito fixa-se o potencial da malha (suposta esta equipotencial a um valor unitário (100%). Conhecidas as correntes determina-se a resistência de terra desta. Dado o carácter indicativo dos valores admitiu-se por razões práticas a homogeneidade do solo relativamente à sua resistividade.

B) Zonas públicas e frequentadas

Nestas zonas assume particular interesse, o valor da resistência de terra (depende da resistividade do solo e da geometria da configuração do circuito de terra), o uso de dois cabos de guarda, com incidência na distribuição da corrente de defeito, transportando a maior parte daquela e reduzindo-se portanto, a corrente que é escoada para o solo via poste.

Desempenham pois, os cabos de guarda um papel importante de proteção, sob o ponto de vista de segurança de pessoas e de blindagem de condutores às descargas atmosféricas.

A corrente de defeito tomada em consideração no dimensionamento do circuito de terra é a monofásica, admitindo-se um valor máximo de 40,0 kA nas subestações interligadas pela linha em projeto.

No quadro abaixo indicam-se os valores obtidos para o tipo de configuração do circuito de terra para zonas frequentadas, constituído por quatro estacas, dois anéis e quatro contrapesos, no apoio MT1G-31:

Tipo de Circuito de Terra	Resistência de Terra para $\rho=100 \Omega$. [Ω]	Potencial máx. no solo [kV]	Tensão de Contacto (d = 1,0 m) (máximo ≤ 225 V) [V]	Tensão de Passo (máximo ≤ 355 V) [V]
4 estacas Ø=20mm l = 2,5 m 2 anéis Ø=20mm 4 contrapesos Ø=20mm	3,66	2,75	223,3	289,2

2.9 Conjuntos Sinaléticos

Em cada apoio existe sinalização claramente visível do solo constante de:

- Chapa de sinalização ou de advertência com o texto “**PERIGO DE MORTE**” e o nº de ordem do apoio na linha.
- Chapa de identificação com o nome (sigla) da linha e o nº de telefone do departamento responsável.

Adicionalmente, todos os apoios localizados junto de vias de comunicação e zonas urbanas, deverão ser ainda equipados com novas placas sinaléticas, onde figura o logótipo da REN e cujas dimensões e características são as seguintes:

- Chapa de aço de 3 mm de espessura com as dimensões de 2000x1000 mm;
- Autocolante em vinil refletor branco aplicado numa das faces do painel;
- Logótipo REN em autocolante vinil brilhante, aplicado sobre o autocolante de fundo branco e com as cores (código PANTONE)
 - VINIL. 3M Série 100 – Azul Safira 100-37
MACal 9800 Pro – Ultramarine Blue 9839-12 Pro
 - VINIL. 3M Série 100 – Azul Celeste 100-453
MACal 9800 Pro – Light Blue 9839-07 Pro
 - VINIL. 3M Série 100 – Verde Lima 100-449
MACal 9800 Pro – Light Blue 9849-24 Pro
 - Letras REN – Branco

Nos apoios cuja numeração é múltipla da dezena, são instalados conjuntos sinaléticos de grandes dimensões adequados à inspeção aérea da linha.

3 Cálculos

3.1 Cálculos Mecânicos

3.1.1 Cálculo Mecânico de Apoios e Fundações

Os apoios a instalar na linha, dos tipos “MTG” e “Q” e as fundações a eles associadas, são utilizados nas linhas da Rede Nacional de Transporte como elementos tipo de linhas pelo que é dispensável a apresentação dos respetivos cálculos.

3.1.2 Cálculo Mecânico dos Cabos

Foram determinados os vãos equivalentes de cada cantão e calculadas as trações nestes vãos, nas diversas hipóteses, trações essas que se consideram iguais em todos os vãos do cantão. Tomou-se para estado de partida dos condutores, em cada cantão, valores de EDS (definido a 15 °C sem sobrecarga) inferiores a 24,0% da carga de rotura. Para estado de partida, no cálculo das trações dos cabos de guarda, tomou-se um EDS correspondente a uma flecha igual ou inferior a 85% da flecha dos condutores no mesmo estado.

3.2 Cálculos Elétricos

3.2.1 Resistência Elétrica Linear dos Condutores

Os condutores são constituídos por um cabo singelo do tipo ACSR 485 (Zebra). Este é constituído por um núcleo central em fios de aço e por três camadas de fios em liga de alumínio. A ficha deste cabo está incluída no Anexo A.4.

A resistência elétrica quilométrica do cabo ACSR 485 (Zebra), em corrente contínua à temperatura de 20°C, é de 0,0674 Ω/km. A resistência elétrica em corrente alternada (f= 50 Hz) tendo em conta o efeito pelicular é de 0,0681 Ω/km. A variação da resistência elétrica com a temperatura é dada por

$$R(\theta) = R(20) \cdot (1 + \alpha \cdot (\theta - 20))$$

onde o coeficiente de temperatura α tem o valor 0,00403 °K⁻¹.

No Anexo A.10 apresenta-se a evolução da resistência dos condutores em função da sua temperatura, tendo em conta o efeito pelicular.

3.2.2 Capacidade Térmica

3.2.2.1 Capacidade Máxima de Transporte

Este regime é definido para uma temperatura máxima do condutor, definida para o compromisso económico de máximo na relação (transporte anual de energia)/(perdas energéticas). Esta temperatura está definida para a RNT como 85 °C. O modelo de cálculo tem em conta a dissipação térmica da energia elétrica nos condutores (efeito Joule) em resultado da passagem de corrente e a interação dos condutores com o meio envolvente em termos de energia radiante. O modelo utilizado é conhecido por modelo de *Kuipers-Brown* que se pode escrever

$$C \cdot S \cdot dT = P_j \cdot dt + P_s \cdot dt - P_c \cdot dt - P_i \cdot dt$$

ou

$$C \cdot S \cdot \frac{dT}{dt} = I^2 \cdot R_T + \alpha \cdot R \cdot d - 8,55 \cdot (T - T_A) \cdot (v \cdot d)^{0,448} - E \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d \cdot (T^4 - T_A^4)$$

onde $C \cdot S \cdot dT$ é a energia térmica armazenada no condutor durante o tempo dt , $P_j \cdot dt$ é a energia Joule, $P_s \cdot dt$ a energia absorvida a partir da radiação solar, $P_c \cdot dt$ a energia perdida por convecção (para velocidades do vento superiores a 0,2 m/s, ou seja, convecção forçada) e $P_i \cdot dt$ a energia perdida por irradiação. Por sua vez os restantes parâmetros têm o significado seguinte:

- C = capacidade calorífica (W.s/m³)
- S = Secção transversal (m²)
- T = temperatura absoluta do condutor (°K)
- t = tempo (s)
- R_T = resistência elétrica à temperatura absoluta T (Ω)
- α = coeficiente de absorção solar (0,5)
- R = radiação solar (1000 W/m²)
- d = diâmetro do condutor (m)
- T_A = temperatura ambiente absoluta (°K)
- v = velocidade do vento (0,6 m/s para o regime de calma)
- E = poder emissivo em relação ao corpo negro (0,6)
- σ = constante de Steffan ($5,7 \times 10^{-8}$ W/(m².K⁴))

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

No modelo acima, o regime permanente traduz-se por ser

$$\frac{dT}{dt} = 0$$

A corrente admissível é, no fundamental, função do aquecimento dos condutores (diferença da temperatura do condutor e da temperatura ambiente) traduzindo-se a ação daquele aquecimento em:

- perdas por efeito Joule;
- flechas máximas, com incidência das distâncias mínimas ao solo e outros obstáculos;
- comportamento dos acessórios (pontos quentes);
- envelhecimento dos condutores.

No Anexo A.10 apresenta-se a evolução da temperatura dos condutores para diversos valores eficazes de corrente e diferentes temperaturas ambientes (ie, temperatura do ar à altura dos condutores). Os valores adotados para os parâmetros acima referidos são globalmente aqueles que melhor se adaptam às características do território nacional. Pode ali observar-se, por exemplo, que para a velocidade do vento de 0,6 m/s e temperatura ambiente de 30°C a corrente máxima admissível é de 1002 A no cabo ACSR 485 (Zebra).

3.2.2.2 Regime de Curto-Circuito

A solução técnica global de linha adotada é adequada para correntes de defeito até 40 kA, quer no que diz respeito aos condutores quer aos cabos de guarda. Considerando-se o modelo de cálculo apresentado em 3.2.2.1, admitindo como condição inicial para o cabo condutor ACSR 485 (Zebra) a temperatura máxima de regime permanente de 75°C, a temperatura máxima do cabo não excede 125°C.

Nestes pressupostos, o cabo ACSR 485 (Zebra) pode suportar 41 kA durante 0,350 s, o que é perfeitamente aceitável uma vez que de acordo com os dados atuais da RNT para os 220 kV, o tempo de eliminação de defeitos com uma probabilidade de 97% de não ser excedido é 350 ms.

A linha possui em toda a extensão dois cabos de guarda, sendo um do tipo ACSR 153 (Dorking) e o outro do tipo OPGW, e, considerando os pressupostos atrás referidos, temos em cada cabo uma corrente de $0,75 \cdot 0,95 \cdot 40/2 = 14,3$ kA (supondo o escoamento de 75% da corrente de defeito pelos cabos de guarda, 95% para a subestação mais próxima e 5% para a mais afastada). Ainda com base nestes pressupostos, cada cabo ACSR 153 (Dorking) considerando que o ICC se inicia para uma temperatura ambiente

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

de 30°C, suportará 18,2 kA para um tempo de 0,350s, o que é perfeitamente aceitável face aos registos atuais da RNT.

O quadro seguinte evidencia as variações de flecha dos cabos ACSR 485 (Zebra) para vãos de comprimento entre 300 e 600 metros.

ACSR 485 (Zebra)						
Vãos [m]	Parâmetros [m]			Flechas [m]		Variação de Flecha [m]
	15°C	85°C	120°C	85°C	120°C	
300	1250	1015	936	11,10	12,04	0,94
400	1250	1097	1038	18,29	19,34	1,05
500	1250	1144	1099	27,43	28,55	1,12
600	1239	1173	1139	38,58	39,75	1,17

3.2.3 Efeito Coroa. Campo Elétrico Crítico. Perdas por Efeito Coroa.

O cálculo do campo elétrico crítico e perdas por efeito coroa foi feito com base nas características geométricas dos apoios MTG e considerando a altura média dos cabos inferiores (vão de 400 metros à temperatura de 40°C), determinada a partir das distâncias mínimas absolutas dos mesmos cabos ao solo segundo o critério da REN, S.A. para esta linha (distância de 12 metros no vão de 400 metros, à temperatura de 85°C).

No Anexo A.13 apresentam-se os valores do campo elétrico máximo à superfície dos condutores com relevância para este capítulo.

Os campos máximos à superfície dos condutores foram calculados através de

$$[E] = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot [D] \cdot [A]^T \cdot [U]$$

Onde $[E]$ é o vetor dos fasores de campo elétrico (no modelo de cálculo o problema é de dimensão 14, para ter em conta todos os cabos condutores e os dois cabos de guarda), $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$ (com $\varepsilon_r = 1$ e $\varepsilon_0 = 8,859 \cdot 10^{-12}$ A.s/V.m), $[D]$ é um vetor dos inversos dos raios dos cabos

$$[D] = \left[\frac{1}{r_i} \right]_{i=1 \dots 14}$$

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

$[A]^{-1}$ é a inversa da matriz dos coeficientes de potencial (A.s/V.m) e $[U]$ é o vetor dos fasores de tensão fase-terra (V).

O modelo acima inclui os cabos de guarda, os quais estão considerados ao potencial do solo.

O campo elétrico máximo à superfície dos condutores, para a tensão nominal e considerando a sequência de fases adotada, é de 14,78 kV/cm.

O campo elétrico crítico é definido como o limiar do valor de campo elétrico a partir do qual o efeito coroa surge. O valor deste limiar depende da geometria dos condutores e de parâmetros atmosféricos que afetam as condições de ionização do ar. No presente projeto recorreu-se às especificações da REN, S.A., para o cálculo do campo elétrico crítico e das perdas por efeito coroa.

Os valores de altitude média foram estimados a partir das cotas no terreno de 450 m. A altitude influencia com algum significado o valor do campo elétrico crítico, baixando-o. Na prática isto significa um aumento de perdas por efeito coroa.

As perdas por efeito coroa dependem particularmente das condições climatéricas. Sob chuva elas podem crescer várias dezenas de vezes acima do valor calculado para bom tempo. Para determinar o valor médio anual das perdas é usual utilizar um fator multiplicativo entre 3 e 9 (no Anexo A.13 usou-se 5).

3.2.4 Ruído Acústico

O cálculo e a análise da conformidade dos níveis de ruído que tenham origem nas linhas MAT da RNT com o RGR (Dec. Lei 09/07 alterado pelo Dec. Lei 278/2007) tem por base um $L_{Aeq,LT}$ de acordo com a NP 1730, substituída pela NP ISO 1996-1:2011; NP ISO 1996-2:2011, e o procedimento de cálculo a utilizar será de acordo com o modelo previsional REN/ACC que a seguir se descreve.

O cálculo do ruído emitido pelas linhas efetuou-se de acordo com o modelo REN/ACC (tem por base o modelo BPA) o qual foi desenvolvido com base na avaliação paramétrica dos modelos existentes na literatura bem como no cruzamento com valores resultantes das várias campanhas de medições nas linhas MAT da RNT, em condições favoráveis (com precipitação), para validação. Este modelo previsional e de monitorização encontra-se aceite pela Agência Portuguesa do Ambiente.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
 Memória Descritiva

O modelo de emissão REN/ACC tem duas componentes: uma que calcula, em condição favorável, o nível L_{Aeq} da linha MAT (L_F), para um determinado ponto recetor e de acordo com os valores do campo elétrico E à superfície de cada condutor ou fase, o diâmetro deste e a geometria da linha MAT em questão,

$$L_F = L_{Aeq,i} = -109,6 + 120 \times \log_{10}(E_i) + 55 \times \log_{10}(d_i) - 11,4 \times \log_{10}(r_i) - 5,8 + \frac{q}{300}$$

Onde:

E_i [kV/cm]: campo elétrico à superfície dos condutores, na fase i

d_i [cm]: diâmetro dos condutores, na fase i

r_i [m]: distância radial dos condutores ao recetor, para a fase i

q [m]: cota do terreno de implantação da linha

e uma outra componente que calcula, agora em condição desfavorável, o valor do nível L_{Aeq} da linha MAT (L_H), para um determinado ponto recetor e de acordo com os valores do campo elétrico E à superfície de cada condutor ou fase, o diâmetro deste e a geometria da linha MAT em questão.

$$L_H = L_{Aeq,i} = -120,93 + 120 \times \log_{10}(E_i) + 55 \times \log_{10}(d_i) - 11,4 \times \log_{10}(r_i) - 5,8 + \frac{q}{300}$$

Os valores de $L_{Aeq,i}$ de cada fase i são de seguida adicionados energeticamente, obtendo-se o valor total:

$$L_{Aeq,t} = 10 \cdot \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Aeq,i}}{10}} \right]$$

Em que n é o número de fases (3 no caso das linhas de circuito simples). Para o caso das linhas multicircuitos somam-se energeticamente as contribuições de cada grupo de três fases.

O nível sonoro contínuo equivalente de longo termo, $L_{Aeq,LT}$, para o período de um ano, é obtido pesando as contribuições dos níveis calculados em situação favorável (L_F) com os níveis calculados em situação desfavorável ou “homogénea” (L_H). O peso das contribuições será dado pela probabilidade da ocorrência da situação favorável, ou seja de precipitação. Como se prevê que esta probabilidade seja diminuta, o nível sonoro contínuo equivalente de longo termo será principalmente determinado pelos níveis calculados em situação desfavorável ou “homogénea” (L_H).

$$L_{Aeq,LT} = 10 \cdot \log_{10} \left[p \cdot 10^{\frac{L_F}{10}} + (1 - p) \cdot 10^{\frac{L_H}{10}} \right]$$

Onde p é a probabilidade de ocorrência das condições favoráveis à geração de ruído.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

As probabilidades encontram-se agrupadas em quatro zonas climáticas, de acordo com as divisões climatéricas no âmbito do território nacional, conforme tabela seguinte.

Zona Climática	Probabilidade anual <i>p</i>
Minho (Norte litoral entre o rio Minho e Douro)	0,1
Trás-os-Montes (Norte interior, incluindo parte da Beira Alta)	0,07
Centro (zona entre o rio Douro e rio Tejo)	0,05
Sul (zonal a Sul do Tejo)	0,04

Foram utilizados os valores definidos pela REN, S.A. para a região de Trás-os-Montes.

Os valores calculados estão indicados no Anexo A.13.

3.2.5 Interferências Radioelétricas

No Anexo A.13 apresentam-se também os valores do nível de ruído de radiointerferência. Estes valores foram calculados, de acordo com a norma ANSI, através da expressão

$$E = (53,75 \pm 5) + k \cdot (g_m - 16,95) + 40 \cdot \log\left(\frac{d}{3,93}\right) + E_n + 20 \cdot k_D \cdot \log\left(\frac{20}{D}\right) + E_{FW}$$

sendo E o nível de ruído (RI) em dB [dB/1μV/m], k uma constante aqui igual a 3,5 g_m o campo elétrico máximo em kVef/cm, d o diâmetro do condutor em cm, E_n tem o valor de 4 dB para condutores simples, k_D é o fator de atenuação para a faixa de frequências de 0,5 MHz a 1,6 Mhz e tem o valor 1,6 ± 0,1, D é a distância radial do condutor à antena de medição a 2 m do solo e E_{FW} é uma parcela de correção devida às condições atmosféricas, sendo E_{FW}=0 para bom tempo e E_{FW}=17 dB para chuva.

De acordo com o CISPR o nível de ruído interferente, a 15 m do condutor exterior, para as linhas de 220 kV deve ser inferior a 50 dB/1μV/m com bom tempo. O valor calculado a 1,5 m de altura é de 15,49dB/1μV/m para a tensão nominal, é inferior. Nestas condições e para uma receção classe A (S/R(dB) ≥ 32 dB) a relação sinal/ruído S/R(dB) = S(dB) - R(dB) a 22 m do eixo da linha deverá ser de pelo menos 47,49 dB/1μV/m, isto é a intensidade do sinal emissor deve ser superior a 0,237 mV/m.

3.2.6 Constantes Elétricas Características da Linha

Componentes Simétricas

Componentes simétricas por unidade de comprimento

		Resistência [Ω /km]	Reactância [Ω /km]	Susceptância [S/km]
Circuito 1	d	7.32E-02	4.27E-01	2.70E-06
	i	7.32E-02	4.27E-01	2.70E-06
	h	2.35E-01	9.09E-01	1.75E-06

Componentes simétricas totais da linha

		Resistência [Ω]	Reactância [Ω]	Susceptância [S]
Circuito 1	d	6.23E-01	3.63E+00	2.29E-05
	i	6.23E-01	3.63E+00	2.29E-05
	h	2.00E+00	7.73E+00	1.48E-05

d: Componente directa **i:** Componente inversa **h:** Componente homopolar

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
 Memória Descritiva

3.3 Funcionamento da Linha em Regime Permanente Sinusoidal

3.3.1 Trânsito de Energia (P=140 MW e $\text{tg}\phi=0,2$ no barramento AT da SE Sincelo)

DADOS DE ENTRADA

Barramentos

Número	Nome	U _N [kV]	Tipo	Q _{Cond} [MVar]	I _{ccéf,máx} [kA]	Limite de tensão	
						Superior	Inferior
1	SE_SCL	220,0	Ref	0,0	40,0	10,0%	-10,0%
2	SE_CF	220,0	PQ	0,0	40,0	5,0%	-5,0%

Linhas

De	Para	ID	R [Ω]	X [Ω]	Rh [Ω]	Xh [Ω]	Y [S]	S _N [MVA]	I _{ef,máx} [kA]
1	2	1	0,62	3,63	6,99	22,92	2,29E-05	381,1	1000,0

De	Para	ID	Designação	Nº Fases	Cond/Fase	Designação CG	Nº CG	Tipo de Apoio
1	2	1	ZEBRA	3	1	DORKING	1	MIG

Geradores

Barramento	ID	P _G [MW]	V _s [pu]	X' _d [pu]	X _i [pu]	X _h [pu]	S _N [MVA]	P _{max} [MW]	P _{min} [MW]	Q _{max} [MVar]	Q _{min} [MVar]
1	1	137,5	1,00	0,10	0,00	0,00	200,0	9999,0	-9999,0	9999,0	-9999,0

Cargas

Barramento	ID	P _C [MW]	Q _C [MVar]	S [MVA]	Tg(φ)	Cos(φ)
2	1	137,3	27,5	140,0	0,20	0,98
TOTAL		137,3	27,5	140,0		

TENSÕES NOS BARRAMENTOS

Tensão

Barramento	Mód. [pu]	Mód. [kV]	Arg. [°]	Q _{Cond} [MVar]
1	1,000	220,00	0,00	0,0
2	0,996	219,15	-0,57	0,0

TRÂNSITO DE ENERGIA NAS LINHAS

De	Linha	Para	ID	Potência à entrada		De	Linha	Para	ID	Potência à entrada		Perdas		I _{ef} [A]
				P [MW]	Q [MVar]					P [MW]	Q [MVar]	P _p [MW]	Q _p [MVar]	
1	2	1	1	137,5	27,8	2	1	1	-137,3	-27,5	0,3	0,4	368,2	

PERDAS TOTAIS 0,3 0,4

POTÊNCIAS GERADAS

Barramento	P _G [MW]	Q _G [MVar]	S _G [MVA]	Tg(φ)	Cos(φ)
1	137,5	27,8	140,3	0,20	0,98

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

3.3.2 Linha em Vazio

DADOS DE ENTRADA

Barramentos

Número	Nome	U _N [kV]	Tipo	Q _{Cond} [MVar]	I _{cef,max} [kA]	Limite de tensão	
						Superior	Inferior
1	SE_SCL	220,0	Ref	0,0	40,0	10,0%	-10,0%
2	SE_CF	220,0	PQ	0,0	40,0	5,0%	-5,0%

Linhas

De	Para	ID	R [Ω]	X [Ω]	Rh [Ω]	Xh [Ω]	Y [S]	S _N [MVA]	I _{ef,max} [kA]
1	2	1	0,62	3,63	6,99	22,92	2,29E-05	381,1	1000,0

De	Para	ID	Designação	Nº Fases	Cond/Fase	Designação CG	Nº CG	Tipo de Apoio
1	2	1	ZEBRA	3	1	DORKING	1	MTG

Geradores

Barramento	ID	P _e [MW]	V _s [pu]	X' _s [pu]	X _s [pu]	X _b [pu]	S _N [MVA]	P _{max} [MW]	P _{min} [MW]	Q _{max} [MVar]	Q _{min} [MVar]
1	1	0,0	1,00	0,10	0,00	0,00	200,0	9999,0	-9999,0	9999,0	-9999,0

Cargas

Barramento	ID	P _c [MW]	Q _c [MVar]	S [MVA]	Tg(φ)	Cos(φ)
2	1	0,0	0,0	0,0	-	-
TOTAL		0,0	0,0	0,0		

TENSÕES NOS BARRAMENTOS

Tensão

Barramento	Mód. [pu]	Mód. [kV]	Arg. [°]	Q _{Cond} [MVar]
1	1,000	220,00	0,00	0,0
2	1,000	220,01	0,00	0,0

TRÂNSITO DE ENERGIA NAS LINHAS

De	Linha	Para	ID	Potência à entrada		De	Linha	Para	ID	Potência à entrada		Perdas		I _{sc} [A]
				P [MW]	Q [MVar]					P [MW]	Q [MVar]	P _p [MW]	Q _p [MVar]	
1	2	1	1	0,0	-1,1	2	1	1	1	0,0	0,0	0,0	-1,1	2,9

PERDAS TOTAIS 0,0 -1,1

POTÊNCIAS GERADAS

Barramento	P _e [MW]	Q _e [MVar]	S _e [MVA]	Tg(φ)	Cos(φ)
1	0,0	-1,1	1,1	-	0,00

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

4 Diretriz da Linha

O traçado da linha apresenta a extensão de 8 503 metros, comporta 30 apoios, e encontra-se representado na Planta do Traçado à escala 1/2000, desenho LN 0583, folhas 1 a 7, e na Planta Geral à escala 1/25000, desenho LN 0582, folhas 1 a 3.

Verificam-se, no traçado algumas singularidades decorrentes das condicionantes ambientais e da dispersão de habitações pelas propriedades, o que impossibilitou a definição dos espaços canal com as extensões adequadas ao seu estabelecimento harmonioso e implicou a realização de várias inflexões na diretriz. Em simultâneo, atendeu também à necessidade de maximizar a distância às habitações.

Na Planta do Traçado à escala 1/2000 está também representada a cartografia do corredor com a largura média de 400 metros e que contém a localização de todos os apoios. No perfil e planta parcelar, desenho LN 0584, folhas 1 e 2, apresenta-se a localização e especificação dos apoios ao longo do traçado assim como a posição dos condutores inferiores e dos cabos de guarda em todos os vãos.

Quer o perfil quer a planta parcelar contém a representação de todos os obstáculos existentes sob os condutores, ou na sua vizinhança, compreendidos na faixa de 60 metros centrada no eixo da linha.

A ocupação do solo ao longo do traçado está indicada nos mesmos desenhos que contém também o parcelamento e numeração das propriedades de acordo com as relações de proprietários incluídas no Anexo A.19.

O traçado da linha desenvolve-se no distrito da Guarda, concelho de Celorico da Beira e freguesias de:

- Baraçal;
- Forno Telheiro;
- União das freguesias de Celorico (São Pedro e Santa Maria) e Vila Boa do Mondego.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
 Memória Descritiva

5 Travessias de Vias de Comunicação

5.1 Vias Férreas

O traçado da linha não atravessa vias férreas.

5.2 Estradas

No quadro seguinte indicam-se as estradas atravessadas pela linha em projeto assim como os vãos e pontos da estrada em que ocorrem essas travessias.

Estrada	Ponto de Travessia	Vão de Travessia	Altura dos Condutores [m]
-	Entre a rua do Paço e a rotunda de acesso ao IP2 e EN102-	1-2	15,6
EM 1100	-	14-15	23,2
EN 102	km 134,4	15-16	38,1
Rua da Cocela	Entre a ETAR e a rua dos Bombeiros Voluntários	18-19	32,0
Estrada da Lavandeira	Entre Celorico da Beira e a rua Nova do Bairro	20-21	39,3

5.3 Cursos de Água

Neste Projeto ocorrem as seguintes travessias de cursos de água:

Cursos de Água	Concelho	Freguesia	Vão de Travessia	Altura dos Condutores Inferiores à Água [m]	Observações
Rio Mondego	Celorico da Beira	Forno Telheiro/ União das Freguesias de Celorico (São Pedro e Santa Maria) e Vila Boa do Mondego	14-15	32,3	Não navegável

6 Cruzamentos e Paralelismos com Linhas de Telecomunicações

Em nenhum ponto ocorrem situações de paralelismo com linhas de telecomunicações.

No desenho LN 0585 estão representados os cruzamentos da linha em projeto com linhas de telecomunicações.

Da sua análise destacam-se os parâmetros geométricos mais gravosos seguintes:

- ângulo mínimo de cruzamento, no vão entre os apoios 4 e 5, com 23,44° (superior ao valor mínimo regulamentar de 15°).
- distância mínima entre condutores da linha de energia e a linha de telecomunicações, no vão entre os apoios 13 e 14, com o valor de 11,8 metros.
- f.e.m. máxima induzida igual a 627,0 V no vão entre os apoios 4 e 5. Este valor está de acordo com as Diretivas do ITU-T que indicam, para linhas aéreas de telecomunicações em fios nus, um valor máximo da f.e.m. induzida inferior a 650 V.

Sobre esta matéria salienta-se que os pontos neutros da RNT, Rede Nacional de Transporte, são ligados à terra em todas as subestações e que a linha em projeto possui em toda a extensão dois cabos de guarda, também ligados à terra.

As f.e.m. induzidas nas linhas de telecomunicações (em fios nus), nas secções de cruzamento, são estimadas através de

$$e = I \cdot M \cdot L \cdot k \cdot 10^{-3} \quad \text{V}$$

onde I, em A, é o valor eficaz da corrente de defeito indutora (corrente de curto-circuito monofásico à terra) no vão de cruzamento, M o valor médio do módulo da impedância mútua linear das duas linhas para a secção considerada em Ω/km , L é o comprimento (valor algébrico) da projeção da secção sobre a linha de energia em km e k é um coeficiente redutor que tem em conta o retorno duma parte da corrente de defeito pelos cabos de guarda e o efeito de ecrã dos condutores ligados à terra e paralelos à linha de energia e aos circuitos de telecomunicação.

O valor da corrente de defeito utilizado nos cálculos é determinado a partir da “Evolução da Corrente de Curto-Circuito” incluída no Anexo A.3. O valor médio da impedância mútua linear foi parametrizado pela resistividade do solo de 100 $\Omega\cdot\text{m}$, valor que se considera adequado para esta zona.

7 Cruzamentos e Paralelismos com Gasodutos

O traçado da linha elétrica Sincelo – Chafariz, a 220 kV atravessa no vão entre os apoios 11 e 12, o gasoduto Celorico - Guarda da RNTGN explorado pela REN-Gasodutos.

Em fase de estudo do traçado e distribuição dos apoios foram evitadas situações de paralelismo e otimizadas as condições do cruzamento maximizando o ângulo de interseção entre as duas infraestruturas e a distância entre os apoios no vão do cruzamento.

Contudo, a fim de se avaliar e caracterizar de forma segura as interferências eletromagnéticas entre a linha aérea a infraestrutura de transporte de gás foi elaborado, pela EDP Labellec, um estudo específico.

Os resultados dos cálculos realizados no âmbito desse estudo foram os seguintes:

- Para o funcionamento em regime permanente, verificou-se que a tensão induzida no gasoduto é de cerca de 1 V, e a tensão máxima imposta ao revestimento de cerca de 1,4 V. Estes valores são inferiores ao limite determinado de 15 V. O valor máximo de corrente induzida é de cerca de 4,9 mA, o que resulta numa densidade de corrente AC de 0,6125 A.m⁻², significativamente inferior ao limite determinado de 12,75 A.m⁻²;
- Quanto às simulações em regime de defeito da linha MAT, verificou-se que a tensão máxima induzida no gasoduto toma um valor máximo de 569 V, inferior ao limite determinado de 12,5 kV. As tensões de contacto máximas esperadas na JCT Celorico, Estação Intermédia e JCT Guarda têm os valores de, respetivamente, 570, 35 e 60 V, inferiores aos respetivos limites determinados;
- No caso das simulações de descarga atmosférica num dos cabos de guarda da linha MAT, verificou-se uma sobretensão máxima de cerca de 1730 V na localização exata da intersecção entre a linha MAT e o gasoduto, e uma sobretensão máxima de cerca de 1330 V na JCT Celorico. Todas as outras sobretensões tomam valores inferiores, pelo que é cumprido o limite determinado de 12,5 kV;

O estudo concluiu que como todos os valores máximos simulados se encontram inferiores aos limites determinados, pelo que não é necessário tomarem-se medidas adicionais na linha MAT ou no gasoduto.

Uma cópia integral do estudo pode ser encontrada no Anexo A.20.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

8 Travessias de Conduas Adutoras

A linha objeto desta Memória Descritiva não atravessa condutas adutoras estabelecidas.

9 Outros Cruzamentos, Travessias e Paralelismos

9.1 Aeródromos

Não foram identificados aeródromos suscetíveis de interferência pela linha em projeto.

9.2 Depósitos de Materiais Explosivos

Existe, na vizinhança do apoio 16, um posto de abastecimento de combustível para veículos automóveis.

A distância mínima de segurança, segundo o RSLEAT⁹, entre linhas aéreas e locais destinados ao armazenamento de combustíveis líquidos ou gasosos é, para produtos de categoria 1 (que inclui gasolinas) e capacidade útil do reservatório superior a 10 000 m³ e enterrado, de 25 m.

A distância mínima entre o eixo da linha e os depósitos, que se encontram enterrados, é superior a 90 metros.

Conclui-se assim estarem salvaguardadas as condições de segurança e proteção no que a depósitos de materiais explosivos diz respeito.

9.3 Feixes Hertzianos

Não foram identificadas servidões radioelétricas existentes ou previstas na zona de implantação da linha.

Assim, a linha Sincelo – Chafariz, a 220 kV não interfere com feixes hertzianos existente ou previstos.

⁹ Artigo 142.º

10 Balizagem Aérea

10.1 Sinalização para Aeronaves

De acordo com as disposições contidas na Circular de Informação Aeronáutica 10/03 de 6 de maio 2003, da Autoridade Nacional da Aviação Civil, é necessário sinalizar com esferas de cor alternadamente vermelha ou laranja internacional e branca, com um diâmetro mínimo de 0,6 metros, os cabos de guarda no seguinte vão:

Coordenadas Geográficas dos Pontos Médios dos Vãos a Balizar Rede Geodésica Europeia Unificada – Datum Europeu (1950)			
Vão	Comprimento do Vão (m)	Longitude (W)	Latitude (N)
15-16	526,79	-07° 22' 46,891"	40° 39' 11,261"

No perfil e planta parcelar da linha, desenho LN 0584, folhas 1 e 2 estão indicadas, no vão em causa, as esferas a instalar nos dois cabos de guarda.

10.2 Sinalização para Aves e Condicionamento da Construção de Ninhos

Os dispositivos de sinalização para a avifauna são do tipo “BFD” (*Bird Flight Diverter*), possuem forma helicoidal, são constituídos em plástico com comprimento da ordem de 1m e na parte central possuem um anel de maior diâmetro (350 mm aproximadamente). Têm cor branca ou laranja, e ajustam-se ao cabo de guarda por enrolamento, sendo colocados em intervalos regulares, de comprimento adequado a cada situação. Este anel combinado com a cor do dispositivo aumenta significativamente a visibilidade dos cabos pelas aves, sem lhe conferir um aspeto volumoso e não introduzindo nenhum aumento significativo em relação à área exposta ao vento.

Determinou-se ser necessário instalarem-se “BFD” no troço entre os apoios 19 e 23 e aplicados de 10 em 10 metros em cada cabo de guarda e dispostos alternadamente (em perfil corresponde a um espaçamento aproximado de 5 em 5 metros). Esta disposição corresponde à sinalização do tipo intensiva de acordo com o protocolo ICNB / REN S.A., relativo à minimização dos impactes resultantes da interação das Linhas de Muito Alta Tensão (LMAT) sobre a Avifauna.

Não foi, no entanto e para já, determinada a necessidade da instalação de dispositivos para o condicionamento da construção de ninhos.

11 Análise de Riscos Originados pela Presença e Funcionamento da Linha

Os riscos associados à presença e funcionamento da linha, incluindo os que decorrem de circunstâncias adversas e externas à própria linha, podem considerar-se completamente abrangidos pelas situações que a seguir se referem:

- Incêndios;
- Queda dos apoios ou dos cabos condutores ou de guarda;
- Contactos acidentais com elementos em tensão;
- Tensões induzidas;
- Obstáculos a ligar à terra e dimensionamento do circuito de terra associado;
- Efeito dos campos eletromagnéticos.

11.1 Incêndios

No âmbito da análise deste tipo de riscos, há a considerar a situação em que a linha está na origem do incêndio e, por outro lado, o caso em que a mesma é afetada por incêndios de outra origem.

A probabilidade do funcionamento de linha estar na origem de incêndios é muito reduzida, uma vez que na fase de construção serão garantidas distâncias de segurança aos obstáculos situados dentro de uma faixa de proteção adequada.

Durante a exploração, procede-se a rondas periódicas, a fim de detetar atempadamente construções de edifícios ou crescimento exagerado de árvores que possam aproximar-se da linha a distâncias inferiores aos valores de segurança. A probabilidade de a linha ser afetada por incêndios de outra origem é mais elevada, com incidência na qualidade de exploração e na continuidade de serviço (interrupção do transporte de energia). Associadas a estas situações haverá que considerar o risco de danos ou inutilização dos equipamentos (postes, cabos e cadeias de isoladores), com eventual risco de indução de outro tipo de acidentes, nomeadamente queda de apoios, ou dos cabos condutores ou de guarda.

As opções de conceção adotadas (distâncias aos obstáculos na vizinhança da linha largamente superiores aos valores de segurança) permitem concluir que estão minimizados os riscos da linha originar ou vir a ser afetada por incêndios.

11.2 Queda de Apoios ou de Cabos

Em face das características dos cabos condutores e de guarda e dos coeficientes de segurança adotados na sua instalação pode afirmar-se ser praticamente nula a probabilidade de ocorrência de rotura de qualquer destes elementos da linha.

A queda de cabos condutores surge, normalmente, por rotura de cadeias de isoladores.

Assim, para diminuição da probabilidade deste tipo de risco, são utilizadas, com carácter sistemático, cadeias duplas de amarração em todas as situações e cadeias duplas de suspensão nas travessias consideradas mais importantes, tais como:

- Autoestradas e estradas nacionais;
- Zonas públicas;
- Sobre passagem de edifícios;
- Caminhos de ferro;
- Linhas de alta tensão;
- Rios navegáveis.

O risco deste tipo de ocorrências é muito reduzido e pode traduzir-se, tal como no caso dos incêndios, numa incidência na continuidade de serviço da linha, embora se possa associar o risco sobre pessoas e bens na sequência da queda daqueles elementos.

A queda de apoios apresenta um risco mínimo em face das suas características e dos coeficientes de segurança adotados no dimensionamento dos mesmos e das respetivas fundações.

Por outro lado, a intensidade das ações consideradas, resultantes dos agentes naturais, como por exemplo o vento, correspondem a valores muito elevados, ou seja, as ocorrências cuja probabilidade de ser ultrapassada é muitíssimo baixa. Estes critérios não são arbitrários, mas fazem parte da Legislação Nacional aplicável (RSLEAT) e internacional, após estudos muito aprofundados e experiência real de quase um século de História da Indústria de Transporte e Distribuição de Energia Elétrica. Estes critérios são técnica e legalmente considerados pelos projetistas como suficientes no que se refere à segurança das populações.

Em relação aos apoios pode dizer-se adicionalmente que todos os apoios, quer de amarração quer de suspensão, estão dimensionados para poder manter a sua estabilidade em caso de rotura de qualquer um dos cabos ou cadeias, simultaneamente com a ocorrência da tração máxima expectável.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

De um modo geral, no dimensionamento global dos diversos componentes estruturais da linha, procura-se estabelecer uma coordenação de resistências onde, no caso do componente principal apoio, os subcomponentes crescentemente mais fortes serão o apoio, as fundações e os acessórios e no caso do componente principal cabos, os subcomponentes crescentemente mais fortes serão os cabos, os isoladores e os acessórios.

No período de cinco anos, entre 1998 e 2002, constatou-se em toda a RNT uma média de 3 ocorrências¹⁰, por ano, de quedas de cabos condutores e de guarda. Nesta média incluem-se as quedas de cabos de guarda, em especial os cabos de guarda de aço instalados em zonas de poluição industrial, responsável pela sua corrosão, e as quedas de condutores na sequência da rutura das cadeias de isoladores. As quedas de cabos condutores devidas exclusivamente à sua rutura são extremamente raras e têm sempre causas estranhas à RNT, designadamente vandalismo, choques de aeronaves e incêndios.

11.3 Contactos Acidentais com Peças em Tensão

A ocorrência desta situação é improvável e pode resumir-se à utilização de guias ou outros equipamentos na proximidade da linha.

A altura mínima ao solo das linhas na zona em apreço é muito superior ao mínimo regulamentar (como medida de segurança) e torna improvável a hipótese daquela ocorrência, reduzindo-se o risco de acidente.

Refira-se ainda que todos os apoios, tal como está regulamentado, possuem uma chapa sinalética em local visível, indicando “PERIGO DE MORTE”.

Nas travessias de caminhos, estradas e de cursos de água são também observadas distâncias de segurança muito superiores aos valores regulamentares.

11.4 Tensões Induzidas

A existência de objetos metálicos (vedações e aramados para suporte de vinhas), isolados ou ligados à terra, na vizinhança de linhas aéreas de MAT e acompanhando estas em grandes extensões, são afetados por campos elétricos, magnéticos ou ainda por elevação de potencial no solo, tornando possível o aparecimento de tensões induzidas, com incidência na segurança de pessoas (contactos ocasionais). Não foram, nesta linha, detetadas situações deste tipo. Porém, se detetadas em fase posterior serão tratadas

¹⁰ Sem significado, face ao comprimento de cabos condutores e de guarda instalados na RNT, superior a 40 000 km.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

de acordo com a metodologia a seguir proposta.

Todas as situações serão analisadas pontualmente de modo a garantir-se o estipulado pelo NESC (National Electrical Safety Code, USA): “a corrente induzida que fluirá no corpo de uma pessoa em contacto com o aramado ou vedação será inferior a 5 mA”.

A metodologia de cálculo seguinte permite avaliar situações como as descritas. No sentido de dar uma medida dos riscos corridos apresenta-se um exemplo numérico hipotético. A tensão induzida numa vedação pode ser calculada através de:

$$V = E \cdot h \quad [\text{V}]$$

Onde E é o campo elétrico ao nível do solo em V/m e h a altura da vedação ao solo em metros. A capacidade da vedação é dada por

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon}{\ln\left(\frac{2 \cdot h}{r_c}\right)} \cdot L \quad [\text{F}]$$

Sendo h a altura em m da vedação, r_c o raio do arame da vedação e L o comprimento da cerca na zona de influência (aquela onde o valor de E se mantém aproximadamente constante) em metros. Esta expressão é suficientemente correta para $h > 2 \cdot r_c$ (desprezam-se os efeitos de extremidade).

A corrente que flui na vedação suposta esta ligada numa extremidade ao solo e supondo também que se dispõe numa direção aproximadamente paralela à linha de energia pode ser dada aproximadamente por

$$I = j \cdot \omega \cdot V \cdot C \quad [\text{A}]$$

No Anexo A.11 sob o tema “Campos Elétricos” apresentam-se valores e perfis do campo elétrico para diversas situações. Em termos de campo elétrico para a disposição de fases adotada na linha, aparece no referido Anexo variando entre 1,47 e 1,52 kV/m entre o nível do solo e 1,8 m de altura, sob os condutores. Tomando um aramado de $\varnothing = 4$ mm disposto paralelo à linha, a 1,5 m de altura e numa extensão de 40 m de comprimento, obteríamos $C=304$ pF e $I = 0,22$ mA, valor muito inferior ao limite acima referido de 5 mA. Na prática, a corrente nem seria esta porque as correntes de fuga em cada poste de fixação do aramado, ou através de vegetação em contacto com o aramado seriam da mesma ordem de grandeza, pelo que a hipótese de uma vedação ligada apenas na extremidade, ou, o que é o mesmo, com a extensão indicada, é, geralmente, irrealista e a corrente que atravessaria uma pessoa em contacto com o arame é ainda uma fração daquele valor, atendendo à resistência elétrica da pessoa.

No entanto, naqueles casos de vedações metálicas que se avalie que possam originar, por contacto, correntes induzidas superiores a 5 mA, será efetuada a ligação sistemática à terra (critério BPA - de 60 m em 60 m com uma estaca de "copperweld") a fim de prevenir qualquer risco.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

Dados os muito baixos valores da indução magnética ao nível do solo (ver 12.1.4 e Anexo A.12) dispensa-se aqui qualquer cálculo de correntes induzidas por este sobre aramados.

Relativamente à elevação de potencial do solo, na sequência de um defeito monofásico, segue-se o preconizado nas várias normas já referidas em 2.8.1, devendo ainda tomar em consideração:

- a existência de dois cabos de guarda que transportam a maior parte da corrente de defeito, funcionando como elemento protetor em termos de segurança de pessoas;
- tempo de eliminação do defeito ser $\leq 0,1s$ (proteções rápidas);
- ser muito baixa a probabilidade de coincidência de um contacto ocasional com a ocorrência do defeito no mesmo instante;
- a improvável combinação negativa de todas as ocorrências referidas leva que a atual normalização aponte métodos probabilísticos para estes aspetos.

Deste modo, pode inferir-se que os riscos ligados às correntes que provêm das tensões induzidas são extremamente baixos e muito abaixo dos critérios técnicos e ambientais mais restritivos que se conhecem.

11.5 Relação de Obstáculos a Ligar à Terra e Dimensionamento do Circuito de Terra

Não estão previstas *a priori* ligações particulares de obstáculos. Quaisquer situações deste tipo que se tornem aparentes em fase de construção ou de exploração serão resolvidas através de uma adequada ligação à terra, conforme preconizada no número anterior.

12 Efeitos dos Campos Eletromagnéticos

12.1.1 Valores Limites

O Decreto-Lei n.º 11/2018 de 15 de fevereiro estabelece critérios de minimização e de monitorização da exposição da população a campos magnéticos, elétricos e eletromagnéticos que devem orientar a fase de planeamento e construção de novas linhas de alta tensão (AT) e muito alta tensão (MAT) e a fase de exploração das mesmas.

Este documento vem igualmente revalidar as restrições básicas e os níveis de referência fixados na Portaria n.º 1421/2004, de 23 de novembro e que adota a Recomendação do Conselho Europeu n.º 199/519/CE de 12 de julho de 1999 relativa à limitação da exposição da população aos campos eletromagnéticos.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

De facto, em 2015, o Comité Científico para Riscos de Saúde Novos e Emergentes, da Comissão Europeia, publicou um relatório sobre os efeitos potenciais da exposição a campos eletromagnéticos, em toda a gama de frequências. As conclusões deste painel de peritos suportam que o quadro conceptual de proteção constante da Recomendação do Conselho n.º 1999/519/CE, de 12 de julho de 1999, que deriva das orientações da *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*, continua a permanecer válido, garantindo uma proteção eficaz da população.

Na Portaria nº 1421/2004 de 23 de novembro, o Anexo III, intitulado “Níveis de Referência”, apresenta os valores limites de exposição do público, para os campos elétrico e magnético a 50 Hz e que são os seguintes:

Limites de Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos a 50 Hz ¹¹		
Características de Exposição	Campo Elétrico [kV/m] (RMS)	Densidade de Fluxo Magnético [mT] ¹² (RMS)
Público Permanente	5	0,1

O cálculo concreto dos valores do campo elétrico e magnético para a linha em projeto apresenta-se adiante em 12.1.3, 12.1.4 e nos Anexos A.11 e A.12.

Salienta-se que a aplicação do Decreto-Lei n.º 11/2018 de 15 de fevereiro não permite a passagem de novas linhas elétricas de AT e MAT sobre determinado tipo de infraestruturas e equipamentos sociais, denominados nesse documento por “infraestruturas sensíveis” e estabelece, remetendo para o n.º 3 do artigo 28.º do Decreto Regulamentar n.º 1/92, de 18 de fevereiro (Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão), para linhas de MAT, a distância mínima de afastamento de 22,5 m, entre este tipo de instalações e o eixo da linha elétrica.

São, à luz do Decreto-Lei mencionado no parágrafo anterior, entendidos como “infraestruturas sensíveis” os seguintes tipos de edifícios e equipamentos:

- Unidades de saúde e equiparados;
- Quaisquer estabelecimentos de ensino ou afins, como creches ou jardins de infância;

¹¹ Nas linhas da Rede Nacional de Transporte, em qualquer escalão de tensão, não ocorrem valores superiores aos referidos nesta tabela. Esta conclusão está bem fundamentada por análise comparativa com cálculos teóricos e medições efetuadas em linhas similares em Portugal e em todo o mundo.

¹² 1 mT = 1000 µT

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

- Lares da terceira idade, asilos e afins;
- Parques e zonas de recreio infantil;
- Espaços, instalações e equipamentos desportivos;
- Edifícios residenciais e moradias destinadas a residência permanente.

12.1.2 Medidas de Minimização Adotadas neste Projeto

A seleção do traçado da linha constitui um dos passos mais importantes do projeto de uma linha elétrica. Nessa fase, e tendo presente a preocupação de minimizar a exposição da população aos campos eletromagnéticos, procurou-se que a diretriz do traçado se mantivesse o mais afastado possível dos núcleos urbanos e das habitações isoladas que caracterizam esta zona do concelho de Celorico da Beira. Foi assim possível manter o eixo da linha a distâncias superiores a 65 m de qualquer edifício ou equipamento passível de ser classificado com “infraestrutura sensível” segundo a legislação acima indicada, embora violando o critério de racionalização de custos pelo facto de tais soluções obrigarem a estruturas mais dispendiosas devido a percurso mais longo e tortuoso.

Optou-se, nesta linha, pela utilização de apoios de uma conceção recente (cerca de 10 anos) na qual houve particular atenção à diminuição dos valores de campo elétrico e magnético gerados pelo circuito elétrico aí instalado. Estes apoios foram desenvolvidos usando uma silhueta compacta favorecendo assim a diminuição desses valores, mas garantindo, no entanto, as necessárias distâncias de isolamento entre cabos.

As distâncias dos cabos condutores ao solo em todos os vãos desta linha encontram-se acima do valor mínimo indicado nas Especificações Técnicas da REN, S.A. que por sua vez é substancialmente superior ao mencionado no RSLEAT. Aumentar as distâncias dos condutores ao solo é mais uma medida que contribui favoravelmente para a diminuição dos valores do campo eletromagnético.

As opções tomadas em termos de localização do traçado da linha, tipo dos apoios utilizados e de distâncias ao solo resultam assim, numa minimização da exposição da população a campos eletromagnéticos.

12.1.3 Cálculo do Campo Elétrico

Modelo de Cálculo

O cálculo dos campos elétricos efetua-se a partir do conhecimento das cargas elétricas em cada um dos cabos da linha. No presente caso um circuito com as três fases e dois cabos de guarda, estes supostos ao potencial do solo. A disposição geométrica dos cabos corresponde às famílias de apoios usados na linha considerando uma distância ao solo determinada a partir da distância mínima absoluta imposta pela REN, S.A. para esta linha (12 metros). Os valores que se obtiveram correspondem, portanto a valores máximos do campo elétrico, nos planos horizontais em que foram calculados e que correspondem, sensivelmente ao nível do solo e ao nível da cabeça de um homem (1,80 m do solo).

Para o cálculo da distribuição de cargas elétricas sobre os condutores da linha considerou-se um modelo de cálculo bidimensional onde a geometria é definida num plano vertical transversal à linha, o solo é suposto plano, horizontal e de extensão infinita. Neste modelo os condutores são também supostos paralelos entre si e ao solo, e os condutores inferiores situam-se a uma distância do solo correspondente ao mínimo absoluto acima referido. O plano de corte transversal considera-se afastado dos apoios¹³. Nesta conformidade o vetor de fasores das cargas $[(q_{r+j}.q_{ij})]$ $j=1,2,..$ (número de cabos na linha) calculou-se através de

$$[\tilde{Q}] = [P]^{-1} \cdot [\tilde{V}]$$

onde [P] é a matriz dos coeficientes de potencial de Maxwell e $[(v_{r+j}.v_{ij})]$ $j=1,2,..$ o vetor de fasores de tensões.

Uma vez calculadas as cargas elétricas em cada condutor, o campo elétrico num determinado ponto N (x_N, y_N) do espaço é calculado através de:

$$\vec{E}_j = \tilde{E}_{x,j} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \tilde{E}_{y,j} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

onde as componentes horizontal e vertical do campo referentes à carga j são dadas por (método das imagens).

$$E_{x,j} = \frac{(q_{rj} + j \cdot q_{ij}) \cdot (x_N - x_j)}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot [(x_j - x_N)^2 + (y_j - y_N)^2]} - \frac{(q_{rj} + j \cdot q_{ij}) \cdot (x_N - x_j)}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot [(x_j - x_N)^2 + (y_j + y_N)^2]}$$

¹³ O campo elétrico é distorcido pela presença dos apoios, sendo estas estruturas metálicas, portanto, condutoras e ao potencial do solo. Este efeito - efeito ecrã - é no sentido favorável, isto é, de diminuição dos valores daqueles campos pelo que o modelo utilizado é simultaneamente mais simples e pelo lado da segurança.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

$$E_{y,j} = \frac{(q_{rj} + j \cdot q_{ij}) \cdot (y_N - y_j)}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot [(x_j - x_N)^2 + (y_j - y_N)^2]} - \frac{(q_{rj} + j \cdot q_{ij}) \cdot (y_N + y_j)}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot [(x_j - x_N)^2 + (y_j + y_N)^2]}$$

As componentes horizontal e vertical referentes a todas as cargas obtêm-se fazendo o somatório das contribuições de todas as cargas.

O campo elétrico é assim um vetor de fasores à frequência de 50 Hz da forma:

$$\vec{E} = (\tilde{E}_x, \tilde{E}_y) = (E_{x,r} + j \cdot E_{x,i}, E_{y,r} + j \cdot E_{y,i})$$

o qual descreve no plano xy uma trajetória pulsante elíptica. A componente máxima do fasor do campo elétrico num determinado ponto do espaço é dada pelo valor do semieixo maior daquela elipse.

O valor E_α do módulo do campo ao longo de uma direção definida por um ângulo α , medido em relação à horizontal, é dado por:

$$(E_\alpha)^2 = (E_{ry} \cdot \sin(\alpha) + E_{rx} \cdot \cos(\alpha))^2 + (E_{iy} \cdot \sin(\alpha) + E_{ix} \cdot \cos(\alpha))^2$$

cujo máximo em α deverá satisfazer:

$$\frac{d(E_\alpha)^2}{d\alpha} = 0$$

o que conduz à relação quadrática em $\text{tg}(\alpha)$:

$$\text{tg}^2(\alpha) \cdot (E_{ry} \cdot E_{rx} + E_{iy} \cdot E_{ix}) + \text{tg}(\alpha) \cdot (-E_{iy}^2 + E_{ix}^2 - E_{ry}^2 + E_{rx}^2) - (E_{ry} \cdot E_{rx} + E_{iy} \cdot E_{ix}) = 0$$

válida para $\alpha \neq \pi/2$, valor onde simplesmente $E_{\pi/2} = E_y$. As duas soluções para $\text{tg}(\alpha)$ correspondem aos dois semieixos da elipse do campo, calculando-se assim o valor máximo do módulo do campo através da expressão acima para E_α .

Valores Calculados

No Anexo A.11 apresentam-se os perfis transversais do campo elétrico máximo ao nível do solo e a 1,8 metros do solo para uma faixa entre -40 e +40 metros em torno do eixo da linha, cabos de guarda ao potencial do solo e valor eficaz do módulo da tensão no seu valor nominal e máximo de serviço. O valor máximo calculado, com o circuito à tensão máxima de serviço e a 1,8 metros do solo, é de 1,52 kV/m. Este valor, como se verifica, está abaixo dos limites apresentados em 12.1.1, mesmo numa perspetiva de exposição pública permanente.

12.1.4 Cálculo do Campo Magnético

Modelo de Cálculo

O campo magnético foi calculado usando um modelo bidimensional geometricamente idêntico ao descrito para o campo elétrico. O valor do campo magnético num ponto de coordenadas (xj , yj) em resultado da corrente li que percorre um condutor centrado no ponto de coordenadas (xi , yi) pode ser dado por:

$$\vec{H}_{j,i} = \frac{\vec{I}_i \times \vec{r}_{j,i}}{2 \cdot \pi \cdot r_{i,j}^2} = \frac{I_i}{2 \cdot \pi \cdot r_{i,j}} \cdot \vec{\phi}_{i,j}$$

onde $\phi_{i,j}$ é o vetor unitário na direção do produto externo do vetor corrente com o vetor $r_{i,j}$. Teremos portanto

$$\vec{\phi}_{i,j} = -\frac{y_i - y_j}{r_{i,j}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{x_i - x_j}{r_{i,j}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

e

$$r_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

O campo magnético total é dado pela soma das contribuições devidas às correntes em todos os condutores ¹⁴

$$\vec{H}_j = \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{2 \cdot \pi \cdot r_{i,j}} \cdot \vec{\phi}_{i,j}$$

A densidade de fluxo magnético é então

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

onde $\mu=4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ tanto no solo como no ar.

Valores Calculados

No Anexo A.12 apresentam-se de uma forma sistemática os valores do módulo do vetor densidade de fluxo magnético em perfis transversais numa faixa de -40 a +40 metros em torno do eixo da linha, para a altura ao solo e configurações indicadas no mesmo. Nestes cálculos admitiu-se um regime estabilizado e equilibrado de funcionamento para as correntes. Para efeitos da avaliação dos valores máximos de densidade de fluxo magnético correspondentes a exposições com carácter permanente esta condição é perfeitamente legítima. No anexo A.12 apresentam-se os perfis transversais da densidade de fluxo

¹⁴ Aqui desprezam-se as correntes de retorno pela terra e correntes nos cabos de guarda. As correntes de defeito que se escoam pelos cabos de guarda produzem picos de campo magnético de muito curta duração, cuja energia, relevante na perspetiva de fem induzidas em linhas de telecomunicações, não são relevantes na perspetiva dos efeitos sobre pessoas.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

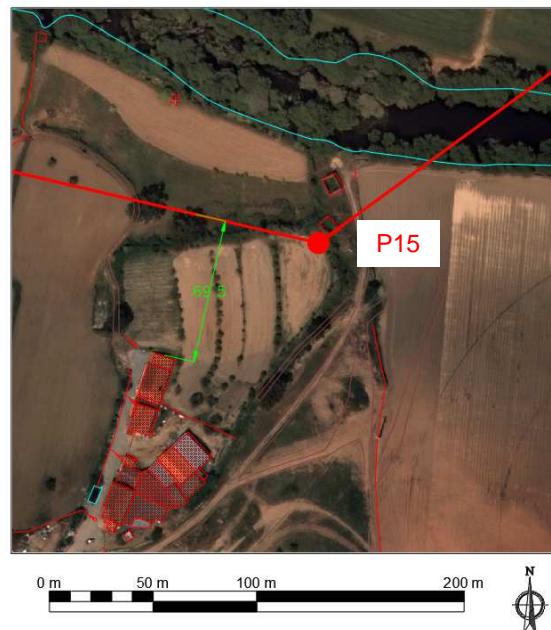
magnético a 1,8 metros do solo para um módulo de corrente “nominal” de 1000 A por fase. O regime de correntes é suposto trifásico e equilibrado. O valor máximo da densidade de fluxo magnético calculado a 1,8 metros do solo é, para este valor “nominal”, de apenas de 12,75 μT .

Todos os valores calculados são muito inferiores aos valores limite apresentados em 12.1.1 mesmo numa perspetiva de exposição pública permanente.

12.1.5 Estudo Específico

Tendo em conta o estipulado no Decreto-Lei n.º 11/2018 de 15 de fevereiro foram calculados os perfis transversais do campo elétrico e do módulo do vetor densidade de fluxo magnético nas situações em que a linha elétrica se localiza mais próxima de edifícios passíveis de serem classificados, à luz dessa legislação, como “infraestruturas sensíveis”. Assim, apresentam-se a seguir as duas situações mais gravosas e que foram objeto de um estudo próprio.

Vão P15 - P16



O eixo da linha elétrica encontra-se cerca de 70 metros de um edifício com características de habitação permanente.

O valor máximo do campo elétrico calculado a 70 m do eixo da linha, com o circuito à tensão máxima de serviço e a 1,8 metros do solo, é de 0,06 kV/m.

O valor da densidade de fluxo magnético calculado a 1,8 metros do solo é, para 1000 A, de 0,39 μT .

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

Vão P21 - P22



Neste caso, a linha passa nas proximidades de um conjunto de edifícios. No entanto, existe apenas uma construção com características de habitação permanente. Este edifício, de construção modesta, distingue-se dos restantes pela sua aparência que evidencia ter sido objeto de uma intervenção recente. Todos os outros edifícios deste núcleo estão devolutos e terão sido abandonados há algum tempo.

Esta construção recente situa-se a cerca de 70 metros do eixo da linha e o valor máximo do campo elétrico calculado nesse ponto, com o circuito à tensão máxima de serviço, e a 1,8 metros do solo, é de 0,06 kV/m.

Aqui, o valor da densidade de fluxo magnético calculado a 1,8 metros do solo é, para 1000 A, de 0,41 μ T.

Verifica-se que todos os valores calculados são muito inferiores aos valores limites apresentados em 12.1.1 mesmo numa perspetiva de exposição pública permanente.

Os anexos A.11 e A.12 incluem os resultados destes cálculos.

13 Anexos à Memória Descritiva

Os anexos à Memória Descritiva são os seguintes:

- A.1 Esquema Axial dos Apoios
- A.2 Esquema das Fundações
- A.3 Circuitos de Terra dos Apoios.
- A.4 Características dos Cabos
- A.5 Características dos Isoladores
- A.6 Planos de cadeias de Isoladores e Fixação dos CG
- A.7 Condições de Regulação dos Cabos Condutores e de Guarda. Relação de Flechas
- A.8 Estabilidade das Cadeias de Isoladores
- A.9 Ações dos Cabos e Cadeias de Isoladores
- A.10 Capacidade Térmica dos Cabos (em Regime Permanente e Curto Circuito)
- A.11 Campo Elétrico (à Tensão Nominal e à Tensão Máxima de Serviço)
 - A.11.1 Campo Elétrico à Tensão Nominal
 - A.11.2 Campo Elétrico à Tensão Máxima de Serviço
- A.12 Indução Magnética
- A.13 Ruído Acústico. Interferências Radioelétricas. Perdas por Efeito Coroa
 - A.13.1 FEM Induzidas nas Linhas de Telecomunicações
- A.14 Dispositivos de Sinalização para Aves
- A.15 Elementos Gerais da Linha
- A.16 Mapa de Medições
 - A.16.1 Medições de Postes e Fundações
 - A.16.2 Medições de Cabos, Isoladores e Acessórios
- A.17 Conjuntos Sinaléticos
- A.18 Equipamento Diverso
- A.19 Lista de Proprietários
- A.20 Estudo das Interferências da Linha Elétrica no Gasoduto
- A.21 Processo de Verificação da Aplicabilidade do Regime Jurídico de AIA

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

14 Peças Desenhadas

No âmbito deste projeto foram produzidos os seguintes desenhos:

- Planta Geral à escala 1/25000, desenho LN 0582, folhas 1 a 3;
- Planta do Traçado à escala 1/2000, desenho LN 0583, folhas 1 a 7;
- Perfil e Planta Parcelar, desenho LN 0584, folhas 1 e 2;
- Cruzamentos com Linhas de Telecomunicações, desenho LN 0585.

Linha Sincelo - Chafariz, a 220 kV – Projeto de Licenciamento
Memória Descritiva

O Técnico Responsável:

António Natário Afonso

(Ordem dos Engenheiros n.º 11769)